

## 6. Bewertung der Berechnungsergebnisse

Die Berechnungen wurden für die Hochwasserwellen gemäß **Bild 6** durchgeführt und die Ergebnisse wurden, wie zuvor erläutert, flächenhaft grafisch dargestellt. Alle diesbezüglichen Ausdrücke sind im **Anhang** für verschiedene Abflusszustände während des Durchlaufens der jeweiligen Hochwasserwelle wiedergegeben. Hierbei wurde folgende einheitliche Anordnung gewählt: die **linke Grafik** zeigt jeweils den **Geschiebetrieb**, der zum angegebenen Zeitpunkt berechnet wurde, und aus der **rechten Grafik** sind die bis zu diesem Zeitpunkt eingetretenen **Veränderungen an der Flusssohle** zu ersehen.

Die für die Ermittlung der **Transportmengen** beispielhaft ausgewählten **Querprofile**, die in den Grafiken mit A-A bis F-F gekennzeichnet sind, beziehen sich auf folgende Donau-km:

| Querprofil | Donau-km | Querprofil | Donau-km |
|------------|----------|------------|----------|
| A-A        | 2281,5   | B-B        | 2278,0   |
| C-C        | 2275,5   | D-D        | 2272,1   |
| E-E        | 2269,6   | F-F        | 2266,2   |

**Tabelle 1:** Lage der zur Ermittlung der Transportmengen ausgewählten Querprofile

### 6.1 Hochwasser vom Juli 1954

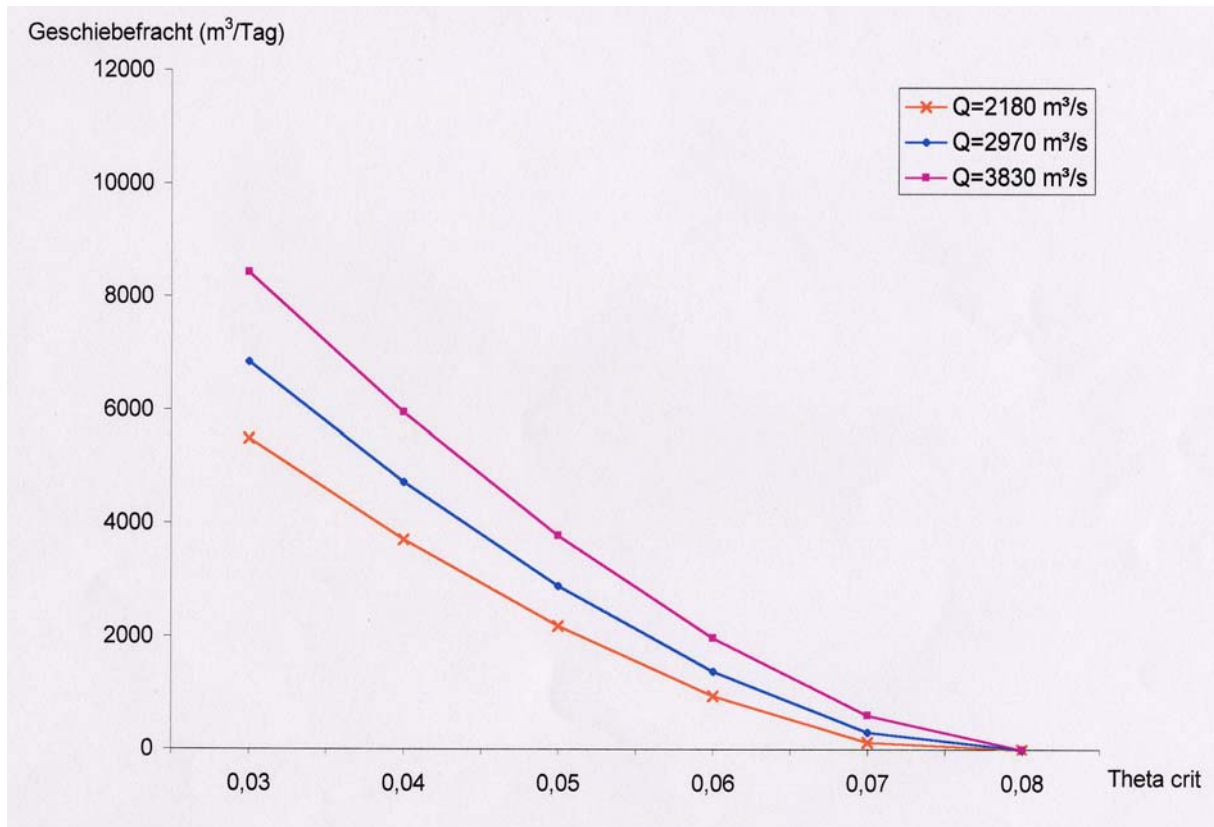
Die Berechnungen für diesen Hochwasserabfluss wurden für einen mittleren Korndurchmesser von 12,5 mm und mit  $\Theta_{\text{crit}} = 0,047$  sowie  $= 0,073$  durchgeführt: Der Wert 0,047 entspricht den Angaben von Meyer-Peter/Müller (vgl. **Bild 8**) und der Wert 0,073 wurde von Hunziker & Zarn im Hinblick auf eine Entwicklung der Deckschicht angegeben (vgl. Bericht vom Februar 1999).

Die grafischen Auswertungen der instationären Berechnungsergebnisse für den Geschiebetrieb und die daraus resultierenden Sohlenveränderungen sind als **Anlagen HW54.1 – HW54.10** im **Anhang** beigelegt.

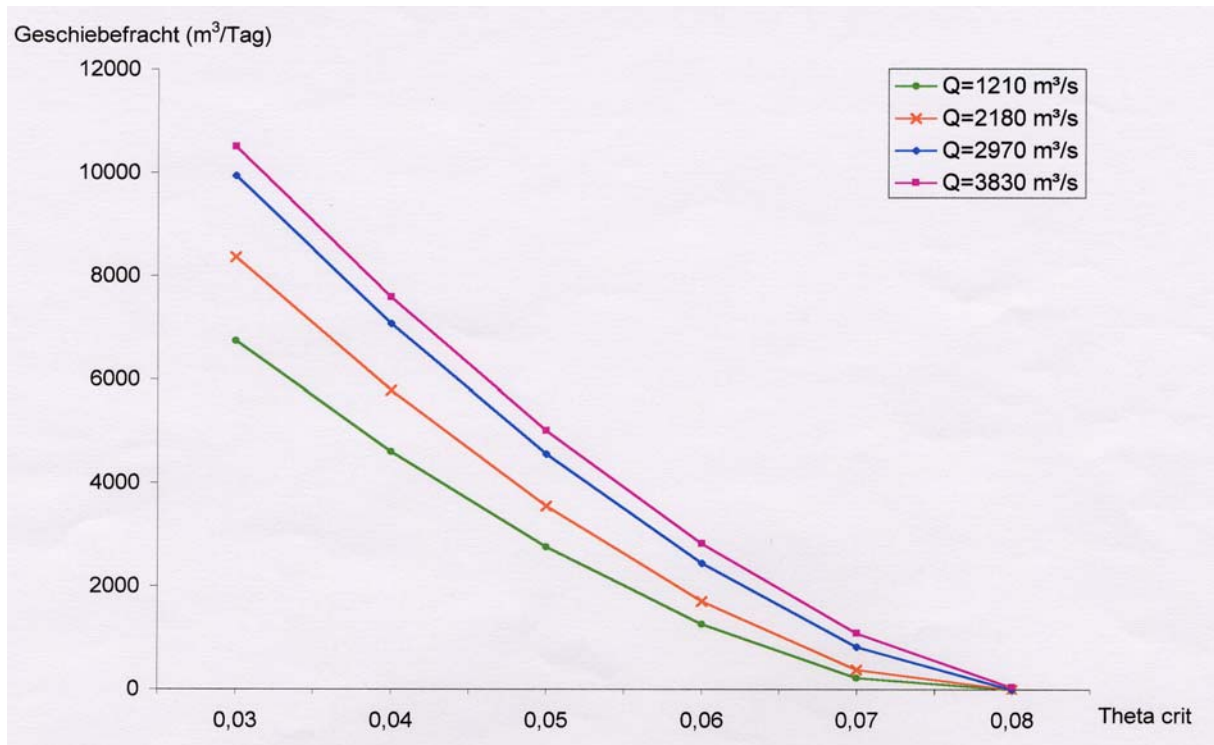
Die Analyse der Ergebnisse bestätigt den sehr großen Einfluss des von der Kornzusammensetzung des Sohlenmaterials abhängigen  $\Theta_{\text{crit}}$ -Wertes und belegt zudem, dass das Transportverhalten in dieser Flussstrecke stark von den örtlichen Gegebenheiten geprägt wird: Geschiebmaterial, das infolge des fehlenden Geschiebeeintrages von oberstrom und der Isar im Bereich des Isarschüttkegels aufgenommen wird, lagert sich unterstrom davon wieder ab.

Nur im Bereich der Mühlhamer Kurve kommt es zu größeren Sohlenumlagerungen: Die blaue Farbe kennzeichnet Erosionsbereiche und das dort ausgetragene Material führt unterstrom der Eintiefungen zu Anlandungen (rote Bereiche); dieser Vorgang wiederholt sich mehrmals. Zuvor eingetiefte Bereiche werden infolge des Durchwanderns des Geschiebes zu einem späteren Zeitpunkt wieder verfüllt.

Die transportierten Mengen gehen bei einer Entwicklung zur Deckschichtausbildung, was durch den größeren  $\Theta_{crit}$ -Wert gekennzeichnet ist, sehr stark zurück: Um diesen Einfluss aufzuzeigen, wurde eine rechnerische Interpolation vorgenommen, die zu den in den **Bildern 11 und 12** angegebenen Ergebnissen führte. Diese Diagramme verdeutlichen, in welchen Größenordnungen die Geschiebemengen infolge dieser Entwicklung abnehmen.

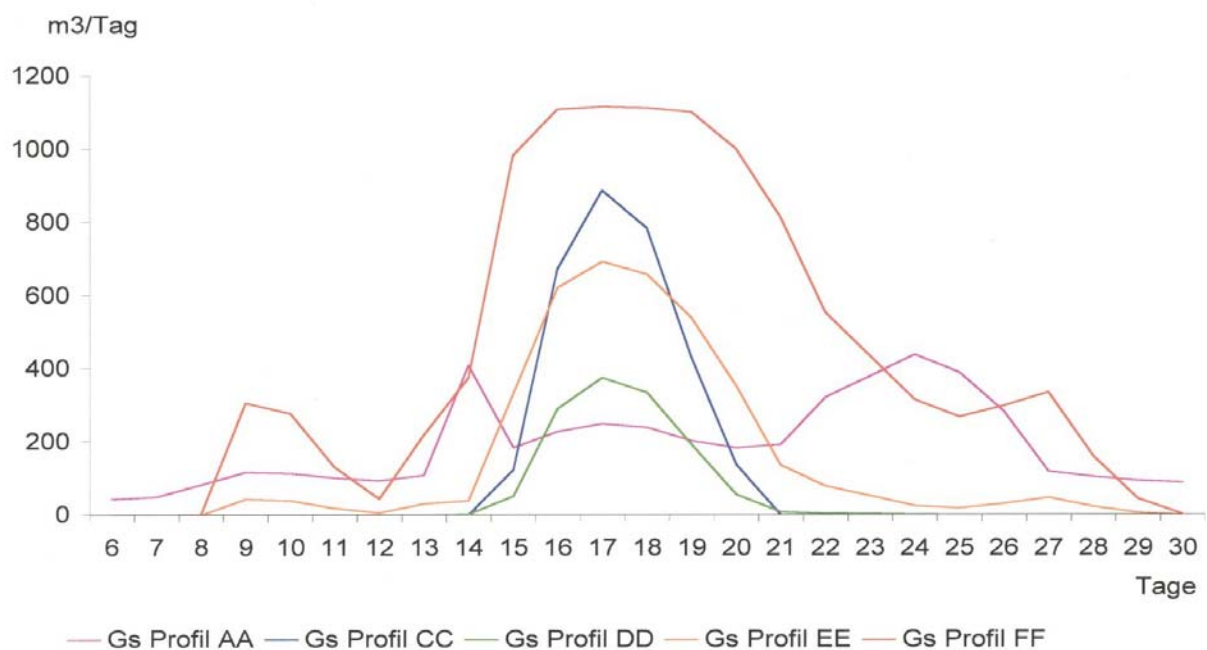


**Bild 11:** Geschiebetrieb in Abhängigkeit von  $\Theta_{crit}$  bei Profil D-D



**Bild 12:** Geschiebetrieb in Abhängigkeit von  $\Theta_{crit}$  bei Profil E-E

Die zuvor dargestellten Auswertungen beziehen sich auf die bei dem angegebenen Abfluss an einem Tag transportierte Geschiebefracht ( $m^3/Tag$ ). Welche Entwicklung beim Ablauf eines solchen Hochwasserereignisses insgesamt zu erwarten ist, veranschaulicht **Bild 13**, das die Ergebnisse von Näherungsberechnungen zeigt, die auf einer Diskretisierung des gesamten Hochwasserzeitraumes beruhen.



**Bild 13:** Zeitlicher Verlauf des Geschiebetransportes beim Durchlaufen einer HW-Welle analog zum Ereignis vom Juli 1954; berechnet mit  $\Theta_{crit} = 0,073$ ; der Scheitelwert des Abflusses erreichte  $3830 m^3/s$

In dem am stärksten belasteten Bereich, dem Querschnitt F-F, ergeben sich demnach mit  $\Theta_{\text{crit}} = 0,073$  für den Geschiebetransport Größenordnungen von maximal ca.  $1100 \text{ m}^3/\text{Tag}$ . In den anderen Bereichen ist der Transport zum Teil deutlich geringer. Die Aufsummierung der in **Bild 13** enthaltenen Bilanz führt zu den Gesamttransportmengen.

Der maximale Wert wurde im Bereich des Querprofils F-F ermittelt und lag gemäß dieser Abschätzung mit der diskretisierten Welle bei ca.  $10.000 \text{ m}^3$ , bezogen auf den Zeitraum, in dem diese Hochwasserwelle abfloss (aus der instationären Berechnung ergaben sich hierfür ca.  $7400 \text{ m}^3$ ). Für den Querschnitt A-A wurde eine Gesamttransportmenge von ca.  $5000 \text{ m}^3$  und für den Bereich bei Profil D-D wurde ein deutlich darunter liegendes Gesamtvolumen von ca.  $1000 \text{ m}^3$  ermittelt.

Der folgende Vergleich verdeutlicht, wie stark sich die transportierten Mengen verändern, wenn sich  $\Theta_{\text{crit}}$  verändert: Der Größtwert, der beim Durchlaufen des Hochwasserscheitels zu erwarten ist, erreicht im Profil F-F ca.  $160 \text{ m}^3/\text{h}$ , wenn mit  $\Theta_{\text{crit}} = 0,047$  gerechnet wird, und reduziert sich bei  $\Theta_{\text{crit}} = 0,073$  auf ca.  $28 \text{ m}^3/\text{h}$ .

## 6.2 Hochwasser vom Januar / Februar 1995

Die Berechnungen für das im vorhergehenden Kapitel behandelte HW-Ereignis von 1954 bezogen sich auf eine Welle mit einem relativ großen Scheitelabfluss von  $Q = 3830 \text{ m}^3/\text{s}$ . Zielsetzung der Berechnungen für das Hochwasser von 1995 war das Aufzeigen des Einflusses und der Veränderungen, die bei einem deutlich niedrigeren Maximalabfluss zu erwarten sind; bei der HW-Welle vom Jan. / Febr. 1995 lag der Spitzenabfluss bei  $2060 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Zum direkten Vergleich wurde der erste Berechnungslauf mit den gleichen Parametern durchgeführt, wie sie auch zuvor gewählt wurden:  $\Theta_{\text{crit}} = 0,047$  und mittlerer Korndurchmesser  $d_m = 12,5 \text{ mm}$ . Ein weiterer Berechnungslauf bezog sich auf ein Zwischenstadium der Deckschichtbildung, wobei unter Beibehaltung des mittleren Korndurchmessers für  $\Theta_{\text{crit}} = 0,060$  gewählt wurde.

Die grafische Darstellung der Ergebnisse ist in den **Anlagen HW95.1-HW95.12** wiedergegeben (**Anhang**). Die zuvor getroffenen Aussagen bezüglich des Einflusses des  $\Theta_{\text{crit}}$ -Wertes wurden, wie nicht anders zu erwarten war, voll bestätigt. Von besonderem Interesse sind jedoch die Veränderungen, die sich bei einem größeren mittleren Korndurchmesser ergeben. Die Angaben für ausgewählte Querprofile, die in der folgenden **Tabelle 2** zusammengestellt sind, sollen dies verdeutlichen.

Die in dieser Tabelle angegebenen Zahlenwerte sprechen für sich: Bei einer Vergrößerung des Sohlenmaterials von einem mittleren Korndurchmesser von  $12,5 \text{ mm}$  auf ca.  $17 \text{ mm}$  kommt der Geschiebetransport bei einem Hochwasserabfluss bis ca.  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$  nahezu zum Erliegen. Da es bei einem Ausbleiben des Geschiebenachschubs von oberstrom und aus der Isar zwangsläufig zu einem Auswaschen von kleineren Kornfraktionen kommen wird, geht die Entwicklung hin zur Ausbildung einer größeren Sohle und somit werden die Sohlenumlagerungen im Laufe der Zeit immer weniger ausgeprägt sein.

**Variante a):  $d_m = \text{konstant}$ ,  $\Theta_{\text{crit}} = \text{variiert}$  (Zeitraum 21.Jan. - 20.Febr.)**

| $d_m$ (mm) | $\Theta_{\text{crit}}$ | G in Profil D-D (m <sup>3</sup> ) | G in Profil F-F (m <sup>3</sup> ) |
|------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 12,5       | 0,043                  | 56300                             | 105700                            |
| 12,5       | 0,047                  | 13500                             | 43000                             |
| 12,5       | 0,060                  | 1400                              | 13200                             |

**Variante b):  $d_m = \text{variiert}$ ,  $\Theta_{\text{crit}} = \text{konstant} = 0,043$  (Zeitraum 26.Jan. - 02.Febr.)**

| $d_m$ (mm) | $\Theta_{\text{crit}}$ | G in Profil D-D (m <sup>3</sup> ) | G in Profil F-F (m <sup>3</sup> ) |
|------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 12,5       | 0,043                  | 10000                             | 20400                             |
| 17,0       | 0,043                  | 120                               | 3000                              |
| 22,0       | 0,043                  | 0                                 | 0                                 |

**Variante c):  $d_m = \text{variiert}$ ,  $\Theta_{\text{crit}} = \text{konstant} = 0,060$  (Zeitraum 26.Jan. - 02.Febr.)**

| $d_m$ (mm) | $\Theta_{\text{crit}}$ | G in Profil D-D (m <sup>3</sup> ) | G in Profil F-F (m <sup>3</sup> ) |
|------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 12,5       | 0,060                  | 1100                              | 6600                              |
| 17,0       | 0,060                  | 0                                 | 0                                 |

**Tabelle 2:** Geschiebetransport G (m<sup>3</sup>) in ausgewählten Querprofilen bei unterschiedlicher Wahl der Parameter  $d_m$  und  $\Theta_{\text{crit}}$ ; Hochwasserabfluss vom Jan. / Febr. 1995, Scheitelwert des Abflusses  $Q_{\text{max}} = 2060 \text{ m}^3/\text{s}$

Aussagekräftig ist auch der Vergleich der Sohlenformen, die sich beim Ablauf der Hochwasserereignisse von 1954 bzw. 1995 ergaben: Zum Zeitpunkt des Eintretens des maximalen Abflusses beim HW 1995 war die Sohle weit stärker umgebildet als zum Zeitpunkt des Erreichens des etwa gleichen Abflusses im Juli 1954, vgl. **Anlage HW95.3** ( $Q = 2060 \text{ m}^3/\text{s}$ ) mit **Anlage HW54.2** ( $Q = 2160 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Nach dem Abklingen der HW-Wellen wird der Unterschied besonders deutlich: Obwohl die Welle 1995 einen viel kürzeren Zeitraum umfasste und der Spitzenabfluss weit niedriger lag als bei der Welle von 1954, bewirkte dieses Ereignis ein völlig anderes und deutlich ausgeprägteres Sohlenbild; vgl. **Anlage HW95.6** ( $Q = 832 \text{ m}^3/\text{s}$ ) mit **Anlage HW54.5** ( $Q = 914 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

In diesen Darstellungen kommt die Bedeutung des Zeitfaktors zum Ausdruck, der den Geschiebetransport mit charakterisiert: Beim HW 1954 wurde in der langen Phase des Abklingens des Hochwassers das Material weitertransportiert und die Sohlenumgestaltung zum Teil wieder ausgeglichen, während beim raschen Abklingen des HW 1995 das Material liegen blieb, was in diesem Beispiel zu einem erheblichen Baggeraufwand geführt hätte.

Bei der Bewertung sind allerdings auch die den Berechnungen zugrunde liegenden Randbedingungen  $\Theta_{\text{crit}}$  sowie  $d_m$  einzubeziehen. Wie zuvor anhand der Zahlenwerte in **Tabelle 2** angeführt, bewirkt eine Änderung dieser Parameter eine völlig veränderte Situation.

Dies wird auch aus dem Vergleich der Grafiken in den **Anlagen HW95.6** mit **HW95.12** sowie **Anlage HW54.10** mit **HW95.12** deutlich, denen unterschiedliche  $\Theta_{crit}$ -Werte zugrunde liegen. Auf den Einfluss des mittleren Korndurchmessers wird im folgenden Kapitel noch detaillierter eingegangen.

### 6.3 Hochwasser mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 50 Jahren (HQ<sub>50</sub>)

Die in den Kap. 6.1 und 6.2 erläuterten Berechnungsergebnissen bezogen sich auf ein Hochwasserereignis mit einer steil ansteigenden Welle mit großem Spitzenabfluss aber relativ geringer Fülle (HW 1954) bzw. der Spitzenabfluss erreichte nur einen Wert, der einem 2 bis 3-jährlichen Hochwasserereignis entspricht (HW 1995). Es bleibt zu überprüfen, wie sich die Situation beim Ablauf einer Hochwasserwelle mit deutlich größerer Fülle als 1954 und einem deutlich größeren Spitzenabfluss als 1995 darstellt.

Ausgewählt wurde eine vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft angegebene Bemessungswelle mit einem Scheitelabfluss von 3680 m<sup>3</sup>/s und einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 50 Jahren (vgl. **Bild 6**).

In den **Anlagen HQ50.1-HQ50.30** sind die grafischen Darstellungen der Ergebnisse angegeben (**Anhang**). Hierbei wurde sowohl der Parameter  $\Theta_{crit}$  („Deckschichtausbildung“) als auch der Einfluss eines gröberen mittleren Korndurchmessers  $d_m$  einbezogen (vgl. dazu Angaben auf dem Deckblatt des Anhanges).

Die folgende **Tabelle 3** zeigt den Vergleich der instationär ermittelten Gesamtmengen bei  $\Theta_{crit} = 0,043$  und  $0,047$ :

#### Variante a): $d_m = \text{variiert}$ , $\Theta_{crit} = \text{konstant} = 0,043$ (Zeitraum 28 Tage)

| $d_m$ (mm) | $\Theta_{crit}$ | G in Profil D-D (m <sup>3</sup> ) | G in Profil F-F (m <sup>3</sup> ) |
|------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 12,5       | 0,043           | 66000                             | 118500                            |
| 16,0       | 0,043           | 11600                             | 38600                             |
| 17,0       | 0,043           | 5600                              | 26300                             |
| 22,0       | 0,043           | 0                                 | 360                               |

#### Variante b): $d_m = \text{konstant}$ , $\Theta_{crit} = \text{variiert}$ (Zeitraum 28 Tage)

| $d_m$ (mm) | $\Theta_{crit}$ | G in Profil D-D (m <sup>3</sup> ) | G in Profil F-F (m <sup>3</sup> ) |
|------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 16,0       | 0,043           | 11600                             | 38600                             |
| 16,0       | 0,047           | 4800                              | 24900                             |

**Tabelle 3:** Geschiebetransport G (m<sup>3</sup>) in ausgewählten Querprofilen bei unterschiedlicher Wahl der Parameter  $d_m$  und  $\Theta_{crit}$ ; Hochwasserabfluss = Bemessungswelle HQ50, Scheitelwert des Abflusses  $Q_{max} = 3680$  m<sup>3</sup>/s

Die Tendenz entspricht den Ergebnissen der zuvor erläuterten Berechnungen: Sofern ein größerer Korndurchmesser maßgebend ist, und es zu einer Entwicklung in Richtung Deckschichtausbildung kommt, nehmen die Geschiebetransportmengen drastisch ab. Bemerkenswert ist, wie stark sich eine Änderung von nur 1 mm beim mittleren Korndurchmesser auswirkt; vgl. Werte bei  $d_m = 16$  mm bzw. 17 mm bei Variante a) und ebenso die Änderung von  $\Theta_{crit} = 0,043$  auf 0,047, vgl. Werte bei Variante b).

Aufschlussreich sind insbesondere auch die grafischen Darstellungen der Gegebenheiten nach dem Durchlaufen der HW-Welle: Was sich gemäß **Anlage HQ50.5** ( $\Theta_{crit} = 0,043$ ;  $d_m = 12,5$  mm) „dramatisch“ darstellt, ist bei einer Änderung des  $d_m$  selbst bei gleichem  $\Theta_{crit}$  schon bald als unproblematisch einzustufen: s. **Anlage HQ50.10** ( $d_m = 16,0$  mm), **Anlage HQ50.15** ( $d_m = 17,0$  mm) und **HQ50.20** ( $d_m = 22,0$  mm).

Der Einfluss der Deckschichtausbildung wird besonders deutlich beim Vergleich der **Anlage HQ50.5** ( $\Theta_{crit} = 0,043$ ;  $d_m = 12,5$  mm) mit **Anlage HQ50.30** ( $\Theta_{crit} = 0,073$ ;  $d_m = 12,5$  mm). Aber auch bereits kleine Änderungen wirken sich deutlich aus: Vergleich der **Anlage HQ50.10** ( $\Theta_{crit} = 0,043$ ;  $d_m = 16,0$  mm) mit **Anlage HQ50.25** ( $\Theta_{crit} = 0,047$ ;  $d_m = 16,0$  mm).

Um die jeweilige Entwicklung der Sohle während des Ablaufens der Welle beurteilen zu können, wird empfohlen, die entsprechenden Anlagen für die jeweils gleichen Abflüsse heranzuziehen.

Die Auswertung der Berechnungsergebnisse führte zu dem aus **Anlage 15** zu ersehenden Zusammenhang. Diese Grafik belegt eindrücklich, welche großen Spannen sich für den zu erwartenden Geschiebetransport und die damit einhergehenden Sohlenumlagerungen, je nach Festlegung der für die Berechnungen erforderlichen Eingangsparameter, ergeben.