

7. Bemessung der Filterkonstruktion

7.1. Allgemeines

Die nachfolgenden Bemessungsrichtlinien gemäß /3/ gelten ausschließlich für das Lockergestein, weil man nur da die Gesetzmäßigkeiten der Theorie der Filterströmung in durchlässigen, isotropen und homogenen Körpern (Porenströmung) unter Zugrundelegung idealisierter Annahmen und unter Einbeziehung der Berechnungsmethoden des Erdbaues (Erosion, Suffosion und Kolmation) mit hinreichender Genauigkeit anwenden kann. Im Festgestein erfolgt die Grundwassergewinnung überwiegend aus Kluft- und Spaltensystemen, so daß keine idealisierten Strö-

mungsverhältnisse angesetzt werden können, die eine mathematische Erfassung und Berechnung in dem Umfang wie im Lockergestein ermöglichen. Gewisse Grundsätze, die für das Lockergestein verbindlich sind, gelten jedoch in modifizierter Form genauso für das Festgestein.

Folgende Parameter der Filterkonstruktion sind zu bemessen, bevor der eigentliche Endausbau eingebracht werden kann: Filterkieskörnung oder Nummer eines entsprechenden Tressengewebes, Schlitzweite der Filterrohre bzw. Maschenweite des erforderlichen Stützgewebes, Durchmesser und Länge des Filterrohres.

Die Gesichtspunkte und Kriterien, die bei der Festlegung des Filterrohrdurchmessers zu beachten sind, werden im Abschnitt 8.2. dargelegt. Für die anderen interessierenden Größen sind spezielle Bemessungsformeln entwickelt worden, die meist in Verbindung mit Nomogrammen und Tabellen anzuwenden sind. Diese Bemessungsformeln, die im folgenden dargelegt werden sollen, sind als mathematischer Ausdruck entsprechender Konstruktionsregeln aufzufassen.

7.2. Bemessung des Filterkieses bzw. -sand

Aus der wesentlichsten Funktion des Filterkieses bzw. Filtersandes, eine Erosion im Grundwasserleiter zu verhindern (s. auch Abschnitt 6.4.), ergibt sich, daß die Körnung des Filtermaterials in einem bestimmten Verhältnis zu den Korngrößen des natürlichen Erdstoffes stehen muß. Es liegt zunächst nahe, verhältnismäßig feinkörniges Filtermaterial zu wählen, um so eine möglichst hohe Erosionssicherheit zu erreichen. Dagegen spricht aber die Forderung, nach der die Durchlässigkeit des Filters wesentlich größer sein soll als die des natürlichen Erdstoffes. Außerdem müssen die Poren des Filters so groß sein, daß kleinste Teilchen, die beim Entsandung aus dem Kornverband des Grundwasserleiters gelöst werden, nicht im Filter hängenbleiben. Dieser Entsandungseffekt ist eine gewollte Suffosion, die demnach - im Gegensatz zur Erosion - nicht zu einer unzulässigen Verformung des Grundwasserleiters führt.

Die genannten Abhängigkeiten werden durch folgende Bemessungsformel berücksichtigt /3, S. 7/.

$$2,5 \frac{d_s a^{**}}{e_D} \sqrt{U_D} \leq D_{50} \leq A_{50, \text{zul}} d_{50} \quad (1)$$

- $A_{50, \text{zul}}$ Abstandsverhältnis $\frac{D_{50}}{d_{50}}$ nach Bild 3
 a^{**} Faktor nach Tabelle 1
 d_s größtes suffosionsgefährdetes Korn in mm,
 s. Gleichung (2)
 D_{50} Korndurchmesser des Filterkieses bzw. -sand
 bei 50% Siebdurchgang in mm
 d_{50} Korndurchmesser des Erdstoffes (Grundwasserleiter)
 bei 50% Siebdurchgang in mm
 e_D Porenzahl des Filterkieses bzw. -sand
 U_D Ungleichförmigkeitsgrad des Filterkieses bzw.
 -sand, s. Gleichung (3)

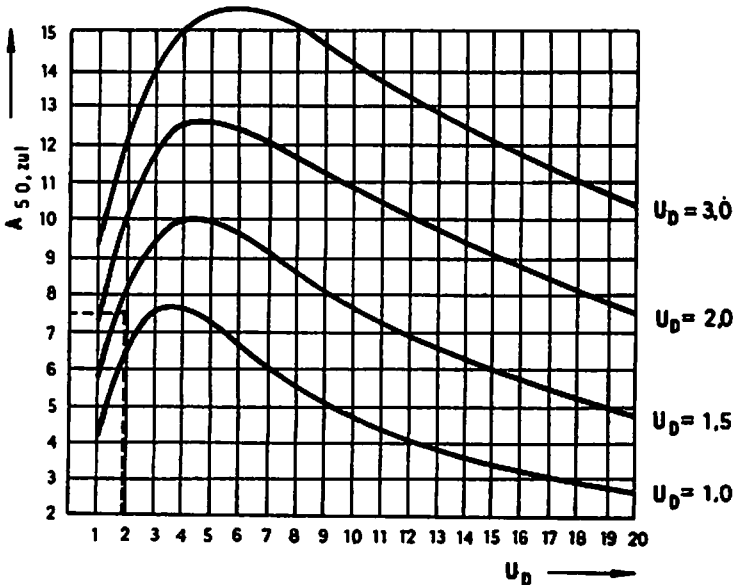


Bild 3. Diagramm zur Ermittlung von $A_{50, \text{zul}} = f(U_D, U_b)$

Tabelle 1. Faktor a^{**} in Abhängigkeit von d_s
nach /3, S. 7/

$0,01 \text{ mm} \leq d_s \leq 0,05 \text{ mm}$	$a^{**} = 4$
$0,05 \text{ mm} \leq d_s \leq 0,25 \text{ mm}$	$a^{**} = 3$
$0,25 \text{ mm} \leq d_s \leq 0,50 \text{ mm}$	$a^{**} = 2,5$

Das größte suffosionsgefährdete Korn ergibt sich hinreichend genau aus der Gleichung

$$d_s \leq 0,27 \sqrt[6]{U_d} e_d d_{17} \quad (2)$$

- e_d Prozentzahl des Erdstoffes
 d_{17} Korndurchmesser des Erdstoffes bei 17% Siebdurchgang in mm
 U_d Ungleichförmigkeitsgrad des Erdstoffes

Für den Ungleichförmigkeitsgrad gilt:

$$U_D = \frac{D_{60}}{D_{10}} \text{ bzw. } U_d = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (3)$$

- D_{60}, d_{60} Korndurchmesser des Filterkieses/-sandess bzw. des Erdstoffes bei 60% Siebdurchgang in mm
 D_{10}, d_{10} Korndurchmesser des Filterkieses/-sandess bzw. des Erdstoffes bei 10% Siebdurchgang in mm

Die Porenzahl e_D kann mit Hilfe folgender Beziehungen ermittelt ($U_d < 15$) werden:

$$e_D = 0,9 \sqrt[3]{U_D} \quad (4)$$

Ist die Porenzahl e_D nicht bekannt, so wird $e_d = e_{\max} = 0,9$ verwendet.

Durch die untere Grenze für D_{50} (linke Seite der Gleichung (1)) wird eine Kolmation des Filters verhindert. Dieser Grenzwert ist allerdings nur dann von Bedeutung, wenn der Ungleichförmigkeitsgrad des Erdstoffes größer als 8 ist, da alle Kornmische mit $U_d > 8$ nicht suffosionsgefährdet sind. In diesem

Falle soll D_{50} möglichst dicht an der oberen Grenze liegen. Dieser obere Grenzwert, der die Erosionssicherheit gewährleistet, hängt vom Ungleichförmigkeitsgrad sowohl des Filtermaterials als auch des natürlichen Erdstoffes ab, wie Bild 3 zeigt.

Eine Faustformel des Praktikers für eine sichere Bemessung der Kieskörnung besagt

$$F = \frac{D_{50}}{d_{85}} \leq 4$$

$$d_{85} \geq \frac{D_{50}}{4}$$

F	Filterfaktor
D_{50}	Korndurchmesser des Filterkieses bei 50% Siebdurchgang
d_{85}	Korndurchmesser des Erdstoffes des Grundwasserleiters bei 85% Siebdurchgang

Die Anwendung der Formel setzt das Aussieben von d_{85} und die Kenntnis von D_{50} voraus.

Mit Hilfe nachfolgender Tabelle kann die zu schüttende Kornklasse bestimmt werden.

Kornklasse	0,5 bis 1	1 bis 1,6	3,15 bis 8	8 bis 12,5
D_{50}	0,75	1,3	5,58	10,5
$D_{50}/4$	0,19	0,33	1,40	2,63

7.3. Bemessung der Filterschlitzweiten und des Filtergewebes

Während der Erdstoff des Grundwasserleiters durch den Filterkies (für Filtersand gilt sinngemäß das gleiche) gestützt wird, liegt dieser am Filterrohr an. Es ist deshalb logisch, daß zwischen den Schlitzweiten der Filterrohre - bei Schlitzbrückenfiltern ist es die Brückenhöhe - und der Filterkies-

Körnung ein bestimmtes Verhältnis bestehen muß. Nach /3, S. 4/ gilt diese Bemessungsformel:

$$\frac{D_{50}}{6} \leq \frac{W_S}{W_B} \leq \frac{D_{50}}{2} \quad (5)$$

W_S Schlitzweite bei Langlochschlitzfilter in mm
 W_B lichte Brückenhöhe bei Schlitzbrückenfilter in mm
 W_G Maschenöffnung des Filtergewebes in mm

Für die unter 6.4. genannten Vorzugskornklassen gilt:

Körnung	0,5 bis 1	1 bis 1,6	3,15 bis 8	8 bis 12,5
$D_{50}/6$	0,125	0,217	0,93	1,717
$D_{50}/2$	0,375	0,65	2,79	5,15

Die Schlitzweiten und Brückenhöhen der verschiedenen Filterrohrarten schwanken zwischen 0,4 und 5,0 mm.

Man könnte mit der Formel (5) eine Schlitzweite (Brückenhöhe) und dann ein entsprechendes Filterrohr auswählen. Da aber für die Auswahl der Filterrohrart noch andere Gesichtspunkte maßgebend sind, kann so meist nicht verfahren werden. Es kommt deshalb häufig vor, daß die Schlitzweiten oder Brückenhöhen zu groß sind. In diesem Fall kann man entweder die Filterrohre mit Filtergewebe (mit quadratischen Maschen) umwickeln oder eine zweite, innere Kiesschüttung einbringen.

Für die Bemessung der Maschenweite des Gewebes gilt ebenfalls die Formel (5). Die Bemessung der Körnung für eine innere Schüttung erfolgt mit Hilfe der Beziehung (1). Anstelle des natürlichen Erdstoffes tritt hierbei der Filterkies/-sand der äußeren Schüttung.

7.4. Bemessung von Tressengewebe

Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit, den Filterkies/-sand durch Tresse zu ersetzen, d. h., die Filterfunktion wird allein von diesem Gewebe übernommen. Hier muß die Maschenweite der Tresse mit der Kornverteilung des Grundwasser-

leiters abgestimmt werden. Eine entsprechende Bemessungsformel, deren Grundlagen allerdings noch nicht völlig gesichert sind, enthält /3, S. 5/. Außerdem ist es sehr schwierig, bei Tressengewebe die wirksame Maschenweite zu ermitteln.

Bei hydrogeologischen Erkundungsarbeiten können reine Gewebbrunnen als Versuchsbrunnen zur Bestimmung hydrogeologischer Parameter Anwendung finden (Eintrittswiderstände lassen sich bei der Auswertung eliminieren).

Im VEB Hydrogeologie wurde die "Richtlinie für den Ausbau von Versuchsbrunnen im Lockergestein" erarbeitet, die eine Bemessungstabelle (Tabelle 2) enthält, aus der die entsprechende Tresse anhand von Körnungsbereichen des Grundwasserleiters (Bild 4) festgelegt werden kann.

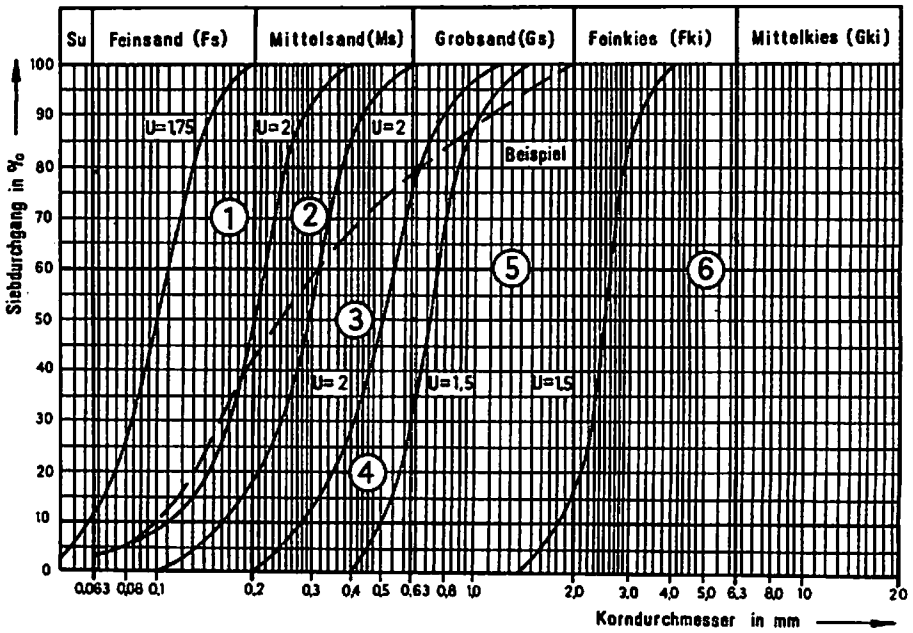


Bild 4. Körnungsbereiche der Grundwasserleiter

Tabelle 2. Bemessungstabelle für Filterkies und Gewebe

Zeile	Körnungsbereiche nach Bild 4		1	2	3	4	5	6
1	Kornverteilung der linken Begrenzung /% Siebdurchgang/		FS 88 Su 12	MS 50 FS 47 Su 3	MS 82 FS 18	MS 75 GS 25	GS 70 MS 30	Fki 82 GS 18
2	min d_{50} /mm/		0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	2,5
3	Pumpversuche (PV) zur Bestimmung hydrogeolo-	Filterkies/-sand /mm/	0,5 bis 1,0	ohne Filterkies; bei Spülbohrungen und Trockenbohrungen mit einem Ringraum $\Delta r > 100$ mm Stüttschicht aus Bohrgut oder geeignetem Rohkies/-sand				
4	gischer Parameter	Tressengewebe-Nr.	-	16	12 oder 10	8		
5		Stütz-/Unterlagsgewebe /mm Maschenweite/	0,5x0,5	5,0 x 5,0				
6	PV zum demon- strativen Nachweis	Filterkies/-sand /mm	0,5 bis 1,0	1,0 ... 1,6 (1 bis 2)		3,15 ... 8,0 (2 bis 8)		
7		Stützgewebe /mm Maschenweite/	0,5 x 0,5			2,0 x 2,0		

Bemerkungen: Werte in Klammern sind Ersatzkörnungen.

Die Körnungsbereiche sind in Bild 4 dargestellt.

Diese Bemessungsgrundlage basiert auf Versuchen an verschiedenen Testbrunnen und hat sich bereits in der Praxis bewährt. Für die Bemessung ist der Körnungsbereich (vgl. Bild 4) maßgebend, dessen linke Begrenzung von der Kornverteilungskurve des Grundwasserleiters nicht oder bei $U_d \geq 3$ nur geringfügig für Siebdurchgänge $< 50\%$ geschnitten wird. Bei dem Beispiel auf Bild 4 (gestrichelte Kurve) gilt: maßgebend Bereich 2, d. h. Verwendung von Tresse Nr. 16.

Liegt die Kornverteilung des Grundwasserleiters im Bereich des Bildes 4 (Feinsand), ist grundsätzlich Filtersand mit der Körnung 0,5 bis 1,0 mm einzubauen (zu große Eintrittswiderstände bei Tresse).

Mit Hilfe der Tabelle 2 können auch die Körnungen für Filterkies/-sand festgelegt werden, sofern bei Versuchsbrunnen keine Tresse verwendet werden soll.

7.5. Bemessung der Filterlänge

Wurde die Filterlänge unter Beachtung der im Abschnitt 8.2. dargelegten Konstruktionsregeln gewählt, so ist zu überprüfen, ob folgende Bedingung erfüllt ist /3, S. 8/:

$$(0,2 \dots 0,5) v_{\text{krit}} \leq \frac{Q}{\pi D_a L} \leq (1 \dots 3) v_{\text{krit}} \quad (6)$$

D_a	Außendurchmesser des Filterrohres
L	Länge des Filterrohres
Q	Förderleistung
v_{krit}	kritische Geschwindigkeit entsprechend Tabelle 3 in cm s^{-1}

Die untere Grenze $(0,2 \dots 0,5) v_{\text{krit}}$ wurde aus ökonomischen Gründen festgelegt. Die obere Grenze $(1 \dots 3) v_{\text{krit}}$ sichert, daß die Geschwindigkeiten auf Filter nicht zu hoch werden. Bei Geschwindigkeiten über $3 v_{\text{krit}}$ treten Turbulenzerscheinungen auf, die auf jeden Fall zu vermeiden sind.

Tabelle 3. Kritische Geschwindigkeiten v_{krit} in $cm\ s^{-1}$
nach /3, S. 8/

D_{10} bzw. d_{10} in mm	$U_D = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ bzw. $\frac{d_{60}}{d_{10}}$							
	1	1,5	2	3	4	5	7	10
1	0,36	0,34	0,32	0,26	0,23	0,21	0,18	0,15
2	0,32	0,29	0,28	0,23	0,20	0,19	0,16	0,13
3	0,29	0,27	0,26	0,22	0,19	0,17	0,15	0,12
5	0,26	0,24	0,23	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11
7	0,25	0,23	0,22	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10
10	0,24	0,21	0,20	0,16	0,15	0,13	0,12	0,10
15	0,21	0,20	0,19	0,15	0,14	0,12	0,11	0,09

7.6. Bemessungsbeispiel

Für einen Brunnen, der in einem Grundwasserleiter mit einer Kornverteilung innerhalb des Kurvenbandes nach Bild 5 steht, ist ein Kies- bzw. Sandfilter zu bemessen. Ferner ist zu überprüfen, ob die Geschwindigkeit am Filter nicht zu groß wird. Gegeben sind folgende Parameter:

$$D_a = 300\text{ mm}$$

$$L = 8,0\text{ m}$$

$$Q = 60\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$$

$$W_S = 5\text{ mm (Langlochschlitzfilter)}$$

Aus dem Kurvenband des Grundwasserleiters ergeben sich folgende Werte für den Ungleichförmigkeitsgrad

$$U_d = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Variante	1	2	3	4
d_{60} in mm	0,28	0,28	0,28	0,38
d_{10} in mm	0,11	0,15	0,15	0,11
U_d	2,5	2,5	1,9	3,5

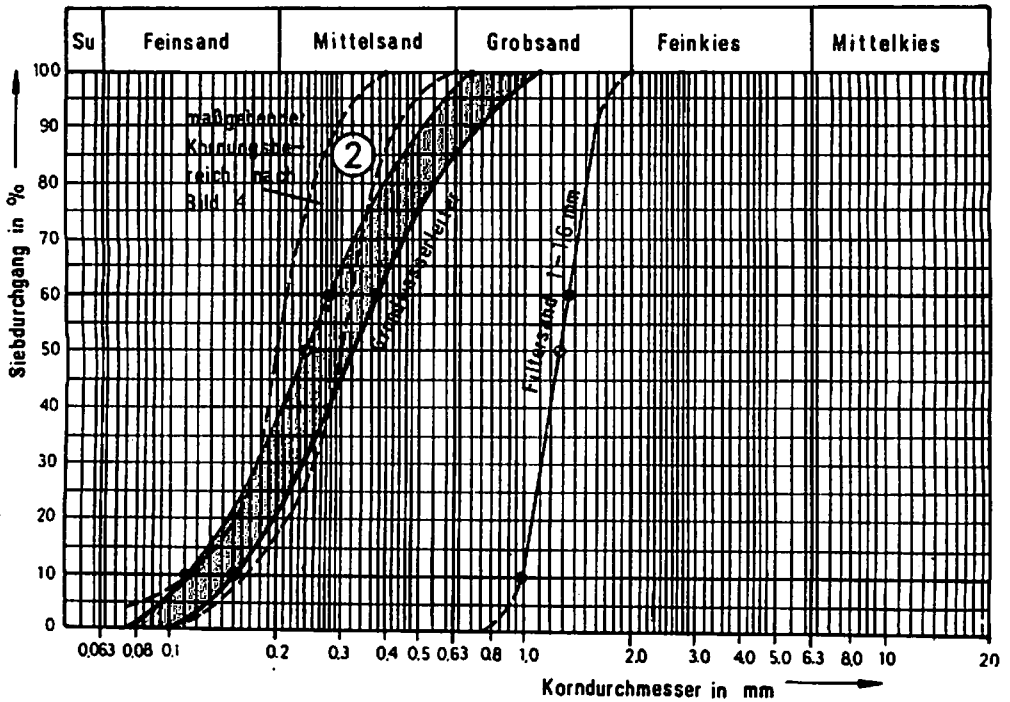


Bild 5. Kornverteilung eines Grundwasserleiters für Bemessungsbeispiel

Es wird ein Filtersand mit der Körnung 1 bis 1,6 mm gewählt (s. Bild 5). Die gestrichelten Abschnitte der Kornverteilungskurve berücksichtigen die nach TGL 22 964 zulässigen Ober- und Unterkornanteile.

Der Ungleichförmigkeitsgrad des Filtersandes ergibt sich zu

$$U_D = \frac{1,35}{1,0} = 1,35$$

Da $U_{dmax} = 3,5$ beträgt, ist der natürliche Erdstoff nicht sulfationsgefährdet, so daß die Bemessungsformel (1) folgende

Form annimmt:

$$D_{50} \leq A_{50, zul} \cdot d_{50}$$

Für $U_D = 1,35$ und $U_d = 1,9$ (ungünstigster Bemessungsfall) erhält man nach Bild 3 $A_{50, \text{zul}} = 7,5$. Damit ergibt sich

$$D_{50} = 1,3 < 7,5 \cdot d_{50 \text{min}} = 7,5 \cdot 0,24 = 1,8$$

Daraus folgt, daß der gewählte Filtersand 1 bis 1,6 mm eine ausreichende Sicherheit gegen Erosion des Grundwasserleiters bietet.

Nun ist zu prüfen, ob die Schlitzweite des Filterrohres nicht zu groß wird. Es gilt die Bedingung (Bemessungsformel (5))

$$\frac{D_{50}}{6} \leq w_S \leq \frac{D_{50}}{2}$$

$$\frac{1,3}{6} \leq w_S \leq \frac{1,3}{2}$$

$$0,22 \leq w_S \leq 0,65$$

Mit $w_S = 5$ mm ist diese Bedingung bei weitem nicht erfüllt. Es ist deshalb ein Stützgewebe erforderlich. Wählt man ein Quadratmaschengewebe mit einer Maschenweite $0,5 \times 0,5$ mm, so ergibt sich

$$0,22 < 0,5 < 0,65$$

Bei der Oberprüfung, ob die vorgesehene Filterlänge ausreicht, wird zunächst die vorhandene Geschwindigkeit am Filter berechnet:

$$\frac{Q}{\pi D_a L} = \frac{1,67 \cdot 10^{-2}}{3,14 \cdot 0,3 \cdot 8,0} = 0,22 \cdot 10^{-2} \text{ ms}^{-1} \hat{=} 0,22 \text{ cm s}^{-1}$$

mit

$$Q = 60 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \hat{=} \frac{60}{3600} = 1,67 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

Für $U_D = 1,35 \approx 1,5$ und $D_{10} = 1,0$ mm findet man in Tabelle 3 $v_{\text{krit}} = 0,34 \text{ cm s}^{-1}$

und die Bedingung für eine zulässige Geschwindigkeit am Filter (Formel (6)) ist mit

$$0,5 \cdot 0,34 = 0,17 < 0,22 < 1 \cdot 0,34 = 0,34$$

erfüllt. Die vorgesehene Filterlänge reicht also aus.

Handelte es sich bei dem Brunnen um einen Versuchsbrunnen, so wäre die richtige Tresse wie folgt zu bestimmen:

Maßgebend ist der Körnungsbereich ② des Bildes 4. Aus Tabelle 2 ergibt sich dafür Tresse Nr. 16 (s. hierzu auch Bild 5).