

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Article, Published Version

**Hauß, Karl-Dieter**

## **Verwendbarkeit von Waschbergen im Verkehrswasserbau**

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102809>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Hauß, Karl-Dieter (1991): Verwendbarkeit von Waschbergen im Verkehrswasserbau. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 68. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 77-88.

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

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

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

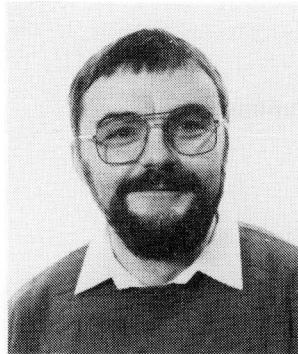


## VERWENDBARKEIT VON WASCHBERGEN IM VERKEHRSWASSERBAU

Use of Minestone in Waterway Engineering

Application d'argilite mineur aux ouvrages hydraulics

Использование побочной породы при добыче каменного угля в гидротехнике водного транспорта



Karl-Dieter Hauß, Dipl.-Ing., wissenschaftlicher Angestellter in der Bundesanstalt für Wasserbau.

Geboren 1945, Studium des Bauingenieurwesens von 1965 bis 1973 an der Universität Karlsruhe.

1971 Baustellenpraxis in Kerava Finnland, seit 1973 bei der BAW, dort im Referat Erdbau, Ufer- und Sohlenbefestigung.

### Inhaltsangabe

Im Bereich der westdeutschen Kanäle werden seit den 30er Jahren vereinzelt Deiche und Erddämme mit Waschbergen errichtet, einem beim Kohleabbau anfallenden Abfallprodukt. Das ursprünglich überwiegend auf Halden gekippte Material wurde in Sonderfällen im Deich- und Straßenbau verwendet. Die hier beschriebenen Untersuchungen tragen den besonderen Bedingungen Rechnung, die bei der Anwendung im Verkehrswasserbau zu beachten sind: Ständige Wasserbelastung und Langzeitverhalten bei Wasserbelastung.

Dabei sind auch chemische Aspekte der Verwendbarkeit des Materials behandelt worden. Über die Untersuchungen und die daraus entstandene Praxis wird berichtet.

### Summary

In the vicinity of the west German canals minestone has been used for the construction of road embankments and dikes since the thirties. This material, which in former times was stored in heaps to a large extent, has been tested to be used as fill for dams in German waterways. The tests take into account the special conditions of waterway engineering which are: permanent water charge and long time behaviour under water charge.

Besides the chemical aspects of using the material have been treated. The report reviews the results and points out practical consequences.

### Sommaire

Au terrain des canaux allemands occidentaux des digues et barrages en terre ont été construits depuis les années trente avec argilite mineur, un matériel dérivé de la production du charbon. Ce matériel, qui au passé était déposé surtout aux tas terrils, était utilisé en certains cas pour la construction des digues et des remblais routiers. Les essais, décrits ici, rendent compte aux situations, qui doivent être observés à l'application aux ouvrages hydrauliques: charge d'eau permanente et changement du matériel sous charge d'eau permanente.

Par ailleurs des aspects chimiques de l'application ont été traités. Le papier donne les résultats et montre des conséquences pratiques.

### Резюме

В бассейнах западно-германских каналов строятся с 30-тых годов местами дамбы и земляные плотины из побочной породы, отходов при угольной выработке. Этот материал, который выбрасывался большей частью на отвалы, нашел свое применение в особых случаях при сооружении дамб и дорог. Эти исследования показывают условия, которые должны быть уточнены при его применения в гидротехнике водного транспорта: постоянная нагрузка воды и длительное поведение при нагрузке воды.

при этом обсуждались и химические аспекты применения материала. Дается отчет об исследованиях и о возникшей из этого практике.

<b><u>INHALT</u></b>		<b>Seite</b>
1	Einführung	79
2	Mineralogische und chemische Zusammensetzung	80
2.1	Mineralogie	80
2.2	Chemische Zusammensetzung	80
3	Geotechnische Untersuchungen	81
4	Korngrößenverteilung	82
5	Verwitterungsversuche	83
6	Scherfestigkeit	84
7	Durchlässigkeit	85
8	Sickerströmung	86
9	Behandlung des Sickerwassers	86
10	Sättigungssetzungen	87
11	Schlußfolgerungen	87
12	Literatur	88

## 1 Einführung

Als Bergematerial, auch "Waschberge" genannt, wird das beim Kohleabbau anfallende Nebengestein verstanden. Damit ist es als Abfallprodukt des Bergbaues anzusehen. Je nach Gesteinsart können die Waschberge bis zu 40 % des Gesamtabbauvolumens betragen. In der Bundesrepublik Deutschland stammen diese Nebengesteine hauptsächlich aus dem Ruhrgebiet und dem Saargebiet.

In der Aufbereitung, auch "Kohlenwäsche" genannt, werden die Kohle und das Gesteinsmaterial mechanisch getrennt. Da ein großer Teil dieser Waschberge nicht mehr, wie früher üblich, in die Stollen zurückgebracht wird (Versatz) sondern auf Halden lagert, ist die Verwendung und Verarbeitung dieses Materials für Aufschüttungen, Dämme, Hinterfüllungen und ähnliche Erdbauwerke eine wirtschaftliche und ökologische Notwendigkeit. Besondere Probleme treten beim Zusammentreffen der Waschberge mit Wasser oder beim Einbau im Wasser auf, wie von Hauß/Heibaum (1990) berichtet wird.

Die hauptsächlichen, in den Waschbergen enthaltenen und meist nicht scharf voneinander zu trennenden Gesteinsarten sind:

- Sandstein - Sandschiefer - Schieferton, auch Schluff- bzw. Tonstein genannt.

Die Waschberge bestehen überwiegend aus Schieferton. Normalerweise besitzt der Schieferton graue Farbe, die sich in der Nähe der Flöze jedoch bis tief schwarz ändern kann. Nach den Angaben in der Fachliteratur zeigt der Schieferton aus dem nordrhein-westfälischen Karbon geringe Gesteins Härte, sowie eine gewisse Neigung zum Aufquellen und zum Zerfall.

Bei der Verwendung von Waschbergen im Wasserbau als Schüttmaterial für Kanalseitendämme und als Kanalspundwand-Hinterfüllung sind andere Randbedingungen gegeben und andere Gesichtspunkte zu beachten, als beim Bau von Straßen- oder Bahndämmen. Auch Hochwasserschutzdeiche sind nicht vergleichbar, da sie nur temporär einer Wasserbelastung unterworfen sind.

Bei ständig wasserbelasteten Uferbauwerken sind unter anderem die durch den untertägigen Kohleabbau auftretenden Bergsenkungen mit ihren Zerrungen und Pressungen, die Änderungen der Aggregatzustände, die Änderungen der Durchlässigkeit und damit der Sickerwasser-Verhältnisse und das Langzeitverhalten von Waschbergematerial zu berücksichtigen. Diese veränderlichen Randbedingungen beeinflussen die innere und äußere Stabilität, das Sackungsverhalten des Dammkörpers, insbesondere bei einer Wassersättigung infolge Durchsickerung sowie chemische Vorgänge im Dammbaumaterial und sind für den Bestand und die Sicherheit dieser Uferbauwerke maßgebend.

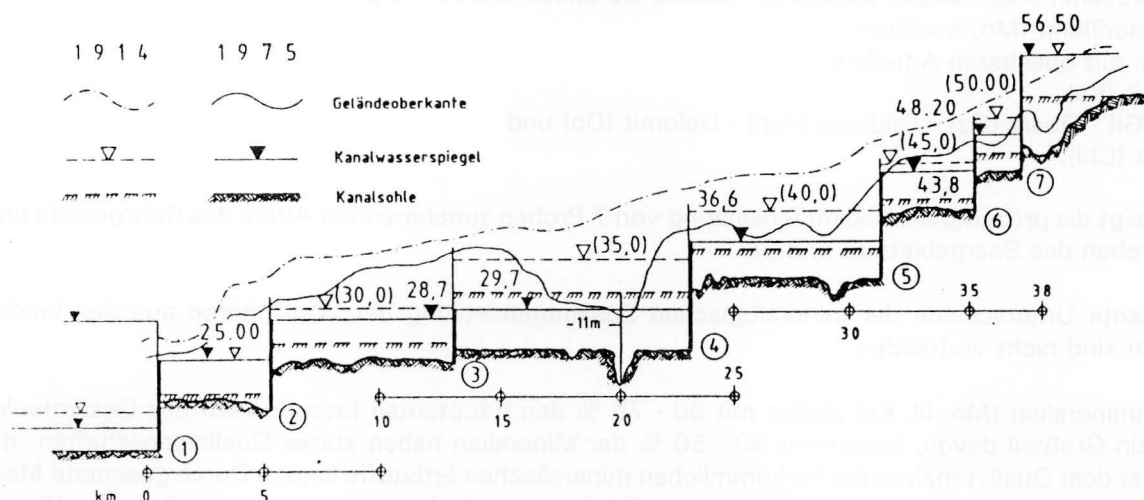


Bild 1 Bergsenkungen am Rhein-Herne-Kanal seit 1914 (nach Kuhn 1985)

Da der Kanalwasserspiegel auch in Bergsenkungsgebieten auf konstantem Niveau gehalten werden muß, sind die Dämme dort entsprechend aufzuhöhen. Dazu sollen verstärkt Waschberge angewandt werden.

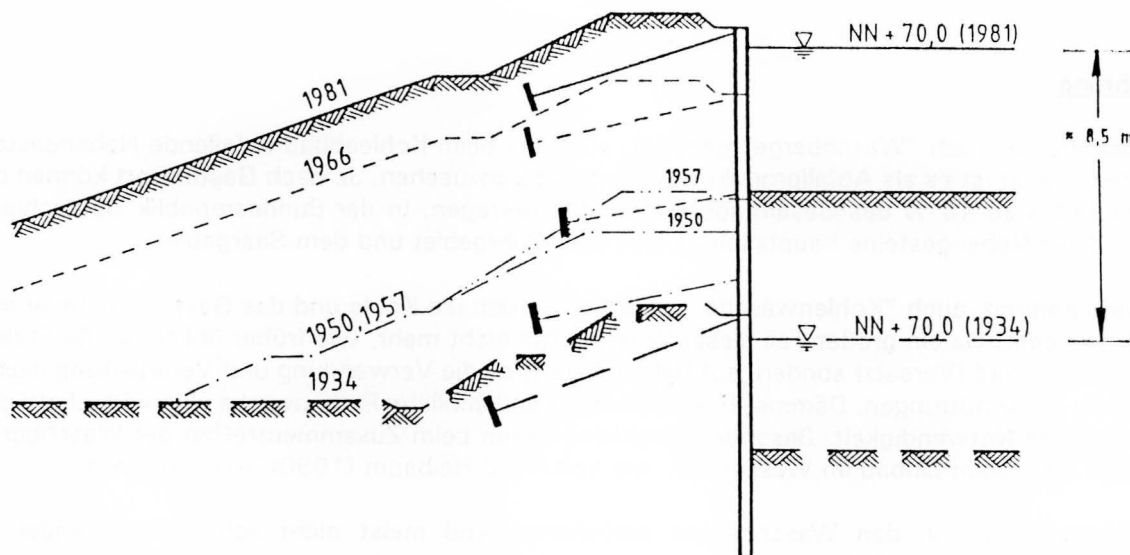


Bild 2 Mehrfach aufgehöhter Kanaldamm (8,5 m Bergsenkung von 1934 - 1981)

Die Aufhöhung ist in mehrfacher Hinsicht mit Inhomogenitäten im Damm verbunden: Zum einen führt die schichtweise Verdichtung zu Querisotropie, zum anderen ist das Material der verschiedenen Aufhöhungsmaßnahmen nicht gleichartig. Gute Verdichtung wurde erst in jüngster Zeit gefordert, so daß die obersten, verdichteten Lagen über einem weicheren bzw. nur wenig verdichteten Kern (Altdamm) liegen.

Um die Probleme bei der Verwendung von Waschbergen im Verkehrswasserbau zu lösen, wurden umfangreiche Untersuchungen im Laboratorium und Aufschlüsse im Feld durchgeführt.

## 2 Mineralogische und chemische Zusammensetzung

### 2.1 Mineralogie

Für die Untersuchungen des Mineralbestandes im Mineralogischen Institut der Universität Karlsruhe wurden jeweils frisch entnommene Proben getrocknet und fein gemahlen. Die quantitative Bestimmung der vorhandenen Mineralien wurde mit einem Röntgendiffraktometer durchgeführt. Mit diesem Gerät können Mineralien aufgrund des Brechungsindex von Röntgenstrahlen durch Vergleich mit bekannten Mineralzusammensetzungen bestimmt werden. Gefunden wurden folgende Mineralien:

- Montmorillonit (Mo; quellbar)
- Illit (Ill; mit quellbaren Anteilen)
- Kaolinit (Ka)
- Gips (Gi) - Quarz (Qz) - Feldspat (Fsp) - Dolomit (Do) und
- Chlorit (Chl).

Bild 3 zeigt die prozentuale Zusammensetzung von 7 Proben zunehmenden Alters des Ruhrgebiets und zwei Proben des Saargebiets (8 und 9).

Signifikante Unterschiede der mineralogischen Zusammensetzung der Waschberge aus den beiden Revieren sind nicht vorhanden.

Die Tonmineralien (Mo, Ill, Ka) stellen mit 60 - 75 % den Hauptanteil (bezogen auf das Gesamtvolumen). Ein Großteil davon, insgesamt 30 - 50 % der Mineralien haben starke Quelleigenschaften, die weit über dem Quellverhalten der herkömmlichen mineralischen Erdstoffe liegen. Durch geeignete Maßnahmen ist sicherzustellen, daß das Quellen des Schüttmaterials, insbesondere bei verdichteten Hinterfüllungen, verhindert oder zumindest in schadlosen Grenzen gehalten wird.

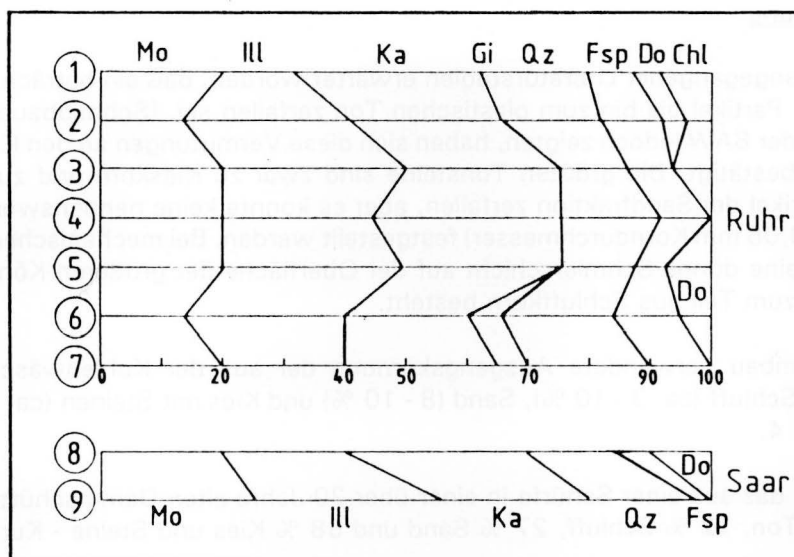


Bild 3 Mineralogische Zusammensetzung von Proben des Ruhrgebiets (1 - 7) und des Saargebiets (8 - 9)

## 2.2 Chemische Zusammensetzung

Immer wenn Waschberge bei geotechnischen Bauwerken (als Hinterfüllung oder Dammmaterial) benutzt werden sollen, beginnt die Diskussion über den Einfluß oder sogar die Gefährdung, die vom Chemismus dieses Materials ausgeht. Es ist bekannt, daß Waschberge grundwassergefährdende Reagenzien enthalten können, die unter Atmosphäreneinfluß und bei Durchsickerung freigesetzt werden und so mit dem Sickerwasser ins Grundwasser und Kanalwasser gelangen können.

In der Literatur werden vor allem der Chlorid- und der Sulfatgehalt als problematisch angesehen [Schulz, M., 1979]. Während Chloride zu einer wesentlichen Erhöhung des Salzgehalts im Wasser führen, können Sulfate zu Korrosion von Stahl und damit zu Beschädigungen von Stahl- und Stahlbetonbauwerken führen. Material aus den oberflächennahen Bereichen der Dämme zeigte gegenüber dem Material aus tieferen Schichten einen erheblich geringeren Sulfatgehalt. Der relativ geringe Gehalt an Sulfaten nahe der Oberfläche entspricht der Tatsache, daß Waschberge dort den Einflüssen aus der Atmosphäre ausgesetzt waren. Auf diese Weise ist ein erheblicher Anteil der Sulfate ausgewaschen worden.

Auch Chloride werden in Waschbergen nur zu einem geringen Maß festgestellt. Sie werden auch relativ schnell von Niederschlägen ausgewaschen und sind nur im Sickerwasser in nachweisbarer Menge vorhanden. Im Abschnitt 9 wird hierauf Bezug genommen.

## 3 Geotechnische Untersuchungen

Die geotechnischen Eigenschaften der Waschberge sind durch eine Vielzahl von Schürfen in den Kanaldämmen am Dortmund-Ems-Kanal, am Datteln-Hamm-Kanal und an Proben einer Zeche an der Saar untersucht worden. Die Schüttungen waren dort ein bis 22 Jahre vor der Entnahme aufgebracht worden. Es wurden Proben am Dammfuß und in der Dammböschung entnommen und in das geotechnische Labor der BAW zur Untersuchung gebracht. Die Dämme besaßen an den Untersuchungsstellen Höhen zwischen 6 und 10 Metern. Die Böschungsneigung betrug 1 : 1,5 bis 1 : 2. Die Dämme an den untersuchten Stellen waren überwiegend aus Waschbergen aufgebaut. Tiefergelegene, inzwischen abgesunkene Altdämme aus örtlich anstehendem Sand- und Lehmmaterial sind heute lediglich im Hinblick auf die Durchsickerung, nicht jedoch für standsicherheitsrelevante Untersuchungen von Bedeutung.

#### 4 Korngrößenverteilung

Es war aufgrund vorangegangener Literaturstudien erwartet worden, daß ein beträchtlicher Anteil des Tonsteins in kleinere Partikel bis hin zum plastischen Ton zerfallen sei, [Schmidbauer, J. 1952]. Wie die Untersuchungen der BAW jedoch zeigten, haben sich diese Vermutungen an den Kanaldämmen aus Waschbergen nicht bestätigt. Die größten Tonsteine sind zwar zu Kieskorn und zu einem geringen Ausmaß auch in Partikel der Sandfraktion zerfallen, aber es konnte keine nennenswerte Zunahme des bindigen Anteils ( $< 0,06$  mm Korndurchmesser) festgestellt werden. Bei mechanischer Beanspruchung zeigte sich lediglich eine dünne Schmierschicht auf der Oberfläche der größeren Körner, die zum Teil aus Kohlestaub und zum Teil aus Schluffkorn besteht.

Die derzeit im Dammbau verwendete Ausgangskörnung der aus der Kohlenwäsche stammenden Waschberge enthält Schluff (ca. 3 - 10 %), Sand (8 - 10 %) und Kies mit Steinen (ca. 80 - 90 %). Kurven O und A auf Bild 4.

Das feinste Material, das aus einer Schürfe in einer über 20 Jahre alten Dammschüttung entnommen wurde, enthält 3 % Ton, 12 % Schluff, 27 % Sand und 58 % Kies und Steine - Kurve B auf Bild 4.

Die Zerfallsrate unter Baustellenbedingungen kann an Bodenproben aus den Fahrspuren von Lkw's abgeschätzt werden, die auf der Oberfläche einer Waschberge-Dammschüttung während des Baus entnommen wurden. Auch unter dieser hohen Beanspruchung übersteigt der Feinanteil  $< 0,06$  mm nicht 7 % des Gesamtgewichts (Kurve C auf Bild 4).

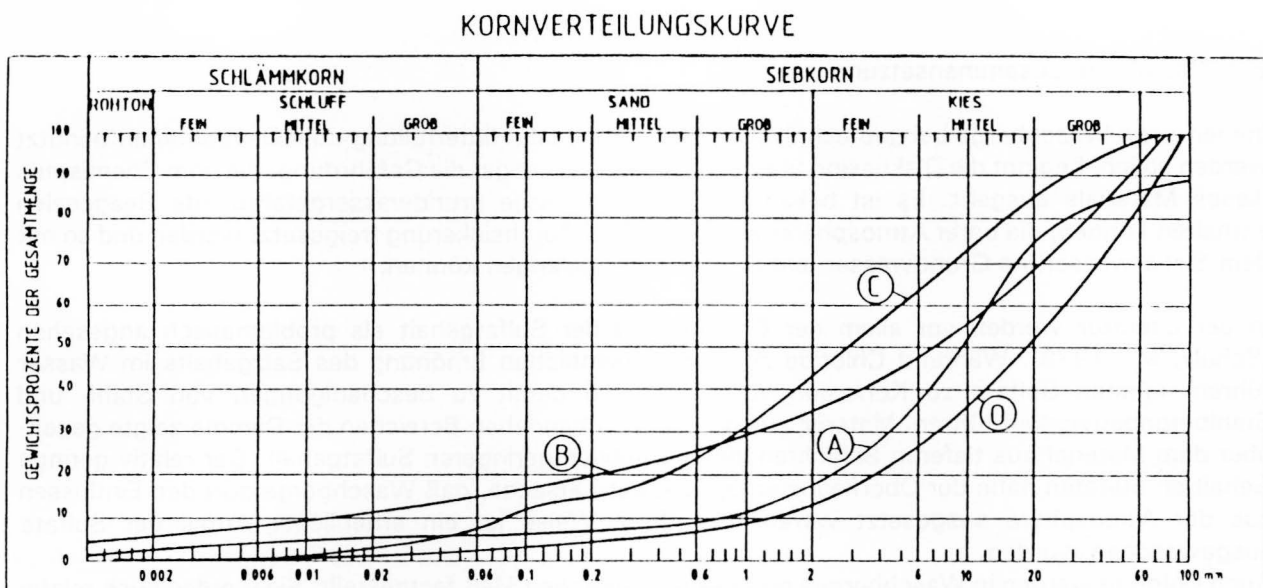


Bild 4 Korngrößenverteilung von Waschbergen aus Dammschüttungen

Ergänzend soll hier angemerkt werden, daß für den holländischen Deichbau auch Waschberge des Ruhrgebiets, jedoch in Kies- und Steingröße mit  $d_{10} > 10$  mm untersucht wurden, deren Verwitterungsprodukt mit  $d_{10} > 2$  mm noch rein rollig ist. Dabei waren die Feinteile mit  $d_{10} \leq 10$  mm vorher abgeseibt worden.



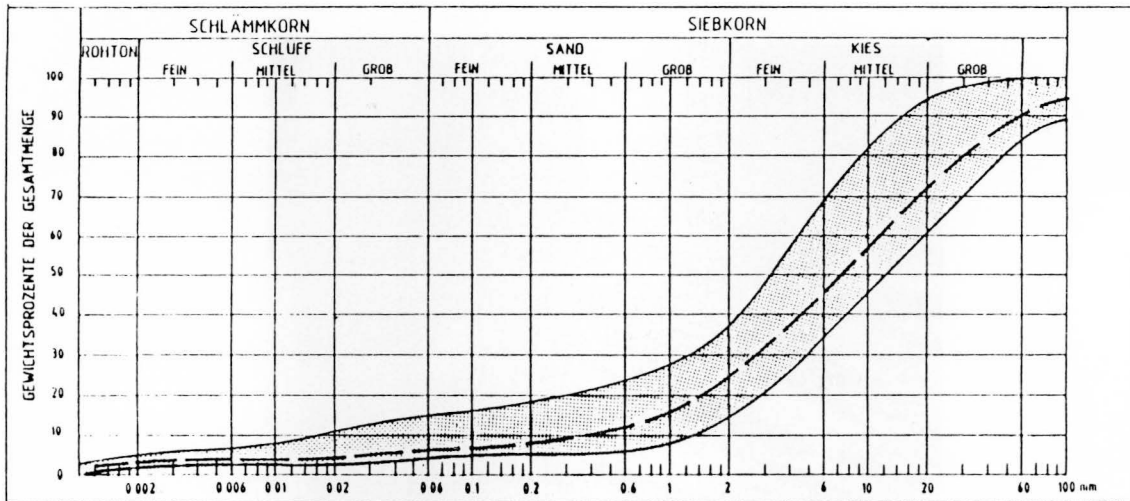
Bild 5 Lkw-Fahrspuren

## 5 Verwitterungsversuche

Teilproben der Waschberge wurden über ein Jahr in offenen Behältern von ca. 2 dm<sup>3</sup> Inhalt der natürlichen Witterung (Regen, Schnee und Sonneneinstrahlung) mit entsprechenden Temperaturwechseln ausgesetzt. Dabei zeigte sich, daß die größten Tonsteine zu Bestandteilen der Kies- und Sandfraktion zerfallen sind. Trotz des direkten Einflusses der Witterung war aber ein wesentlicher Zuwachs an Feinkorn < 0,06 mm nicht festzustellen. Bild 6 zeigt die Körnungsbänder vor und nach den Verwitterungsversuchen. Die Verwitterungsversuche bestätigen damit auch die Feststellungen über den Zerfall von Waschbergen in älteren Kanaldämmen und entkräften Annahmen in der älteren Literatur (Schmidbauer, 1952), die eine tiefgründige Verwitterung langfristig nicht ausschließen. Selbst an ehemaligen inzwischen überschütteten Oberflächen war kein erhöhter Anteil von Schluff- oder Tonkorn festgestellt worden.



KORNVERTEILUNGSKURVE



KORNVERTEILUNGSKURVE

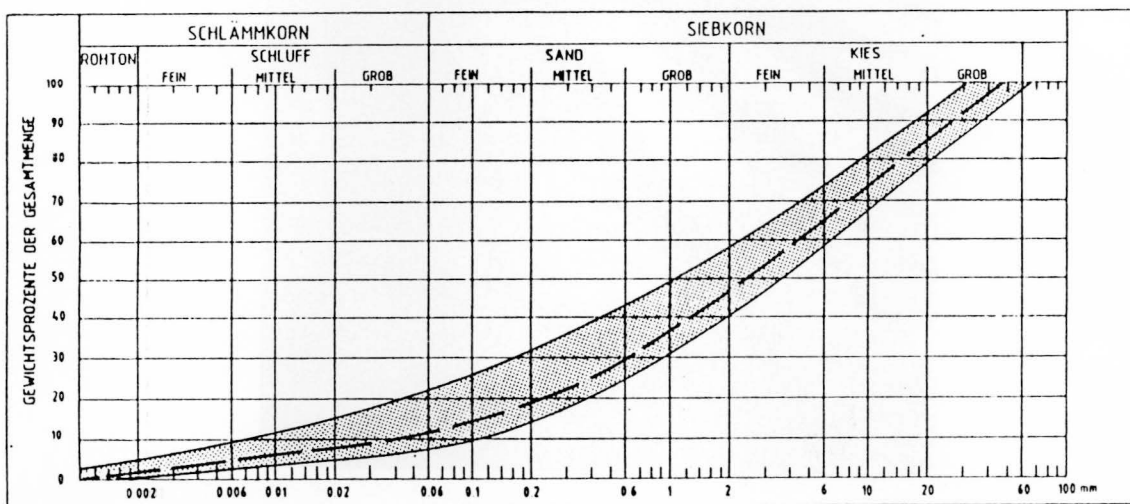


Bild 6 Körnungsbänder der Teilproben vor und nach den Verwitterungsversuchen

## 6 Scherfestigkeit

Zur Bestimmung der Scherfestigkeit von Waschbergen wurden dreiaxiale Druckversuche in einer großen Dreiaxialzelle (Probenhöhe 70 cm,  $\varnothing$  30 cm) durchgeführt. Die Scherparameter wurden bei 3 verschiedenen Porenvolumina an frischem und an verwittertem Material bestimmt. Bild 7 zeigt die Versuchsergebnisse getrennt nach innerem Reibungswinkel und Kohäsion.

Bei alten, kaum verdichteten Waschbergeschüttungen wurden Trockenwichten von 14,5 bis 15,5  $\text{kN/m}^3$  festgestellt, während in neuem, gut verdichtetem Material 19 bis 20  $\text{kN/m}^3$  nachgewiesen wurden (die Kornwichte bleibt mit 23,2 bis 24,6  $\text{kN/m}^3$  nahezu konstant).

Es fällt auf, daß der Reibungswinkel unverwitterten Materials mit abnehmendem Porenvolumen abnimmt. Die Scherfestigkeit insgesamt nimmt zu, da die "Kohäsion" (Kornverzahnung) des Materials mit abnehmendem Porenvolumen linear stark anwächst, soweit dies aufgrund der drei durchgeführten Versuche festgestellt werden kann.

Die Ergebnisse der Versuche an stärker verwitterten Proben zeigen einen mit abnehmender Porosität, d. h. zunehmender Verdichtung, leicht zunehmenden Reibungsanteil und eine nahezu konstante Kohäsion. Der Grund wird hauptsächlich in einem Abbau der Kornverzahnung und einer Zunahme der "Kornverklebung" durch Verwitterung gesehen. Es bildet sich so eine im bodenmechanischen Sinne echte

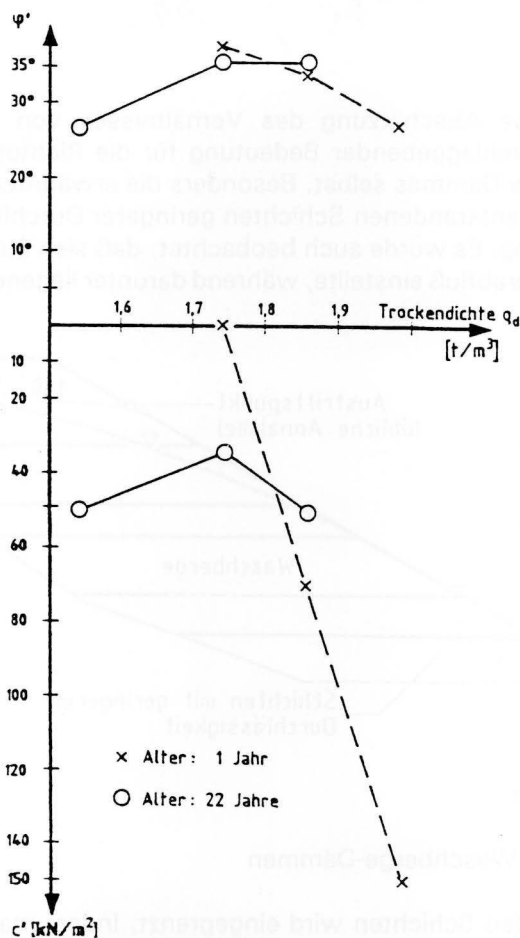


Bild 7 Scherfestigkeit von Waschbergen

Kohäsion, die unabhängig von der Einbaudichte erhalten bleibt.

Berechnungen zeigen, daß die Standsicherheit von Erdbauwerken sehr stark von der Kohäsion abhängt. Aus den Ergebnissen der Scherversuche ist zu schließen, daß die Kohäsion direkt von der Verdichtung beim Einbau abhängt. Deshalb ist eine gute Verdichtung beim Einbau frischen Materials wesentlich, um von vornherein eine hohe Scherfestigkeit zu gewährleisten.

### 7 Durchlässigkeit

Es hat sich gezeigt, daß die Kornverteilung von Waschbergen je nach Alter und Verwitterungsgrad in weiten Grenzen streuen kann. Entsprechend ist die Durchlässigkeit dieses Materials schwer abzuschätzen und auch schwer allgemeingültig zu bestimmen. In der Regel liegen die Durchlässigkeitsbeiwerte zwischen  $1 \cdot 10^{-7}$  und  $1 \cdot 10^{-1}$  m/s. Aber selbst diese Extremwerte können noch überschritten werden. Die Durchlässigkeit wird nicht nur von der Kornverteilung beeinflusst, sondern auch durch Faktoren wie Verdichtung (Porenanteil) und der Ausbildung von Tonfilmen, die die größeren Körner überziehen.

Bei der Verdichtung ist das Alter des Materials seit dem Abbau von ausschlaggebender Bedeutung, da die älteren Waschberge stärker zu Kornbruch neigen als frisches Material. Diese Körner sind leichter zu verdichten und auf diese Weise wird das Porenvolumen und in erheblichem Maß die Durchlässigkeit herabgesetzt. Nach den Erfahrungen der BAW muß in deutschen Kanaldämmen aus Waschbergen ein Faktor von  $10^4$  zwischen der höchsten und der niedrigsten Durchlässigkeit in Betracht gezogen werden. Die Oberfläche von Schüttungen weist infolge der Verdichtung oder des Befahrens häufig einen hohen Feinkornanteil auf, der zu einer extremen Reduzierung der Durchlässigkeit in einer oft nur dünnen Schicht auf dem Verdichtungsplanum führt. Die Folgen solcher Durchlässigkeitsinhomogenitäten werden im folgenden behandelt.

## 8 Sickerströmung

Ein schwieriges Problem ist die Abschätzung des Verhältnisses von horizontaler und vertikaler Durchlässigkeit. Es ist von ausschlaggebender Bedeutung für die Richtung der Sickerströmung und damit für die Standsicherheit des Dammes selbst. Besonders die erwähnten, durch Verwitterung, Verdichtung und Baustellenverkehr entstandenen Schichten geringerer Durchlässigkeit führen zu einer nahezu horizontalen Durchströmung. Es wurde auch beobachtet, daß sich auf einer solchen geringdurchlässigen Schicht ein Sickerwasserabfluß einstellte, während darunter liegende Schichten wieder trocken (bzw. erdfeucht) waren.

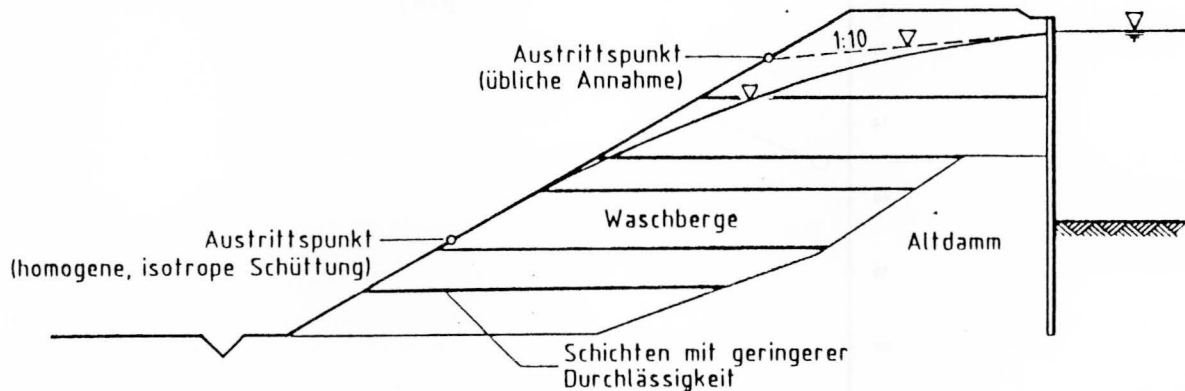


Bild 8 Vergleich der Sickerlinien  
a) Isotrope Schüttung  
b) Übliche Annahmen in Waschberge-Dämmen

Das Problem der wasserstauenden Schichten wird eingegrenzt, indem man Mindestkorndurchmesser vorgibt und feineres Material absondert, wie das im holländischen Deichbau empfohlen wird. Dadurch wird die Durchlässigkeit in allen Richtungen erhöht. Empfohlen wird eine Körnungslinie rechts von der Kurve 0 in Bild 4.

Aus den geschilderten Gründen ist die übliche Potentialtheorie auf die Durchsickerung von Waschbergen nicht anwendbar. Als Näherung wird im deutschen Verkehrswasserbau der Ansatz einer 1 : 10 geneigten Sickerlinie gewählt, ausgehend vom Kanalwasserspiegel. Die Erfahrung zeigt, daß diese Annahme hinreichend genau ist. Bild 8 zeigt die Sickerlinie einer homogenen Dammschüttung verglichen mit dem Ansatz einer 1 : 10 geneigten Sickerlinie.

## 9 Behandlung des Sickerwassers

Der Gehalt an Chloriden erreicht selbst im Sickerwasser der über 10 - 20 Jahre alten Dämme nur Werte bis zu 100 mg/l. Der Gehalt an Sulfaten schwankte in stehendem Wasser am Dammfuß zwischen 180 und 425 mg/l. Besonders, wenn das Sickerwasser lange Zeit im Damm verbleibt, kann die Konzentration kritische Werte erreichen. Die zulässigen Grenzwerte sind von Land zu Land unterschiedlich. Bei Stahl und Stahlbeton wird ein Sulfatgehalt im Sickerwasser unter 250 mg/l als vertretbar angesehen, in gestautem Sickerwasser jedoch unter 100 mg/l.

Um Verunreinigungen von Kanal- und Grundwasser zu vermeiden, muß das Schüttmaterial im voraus getestet werden. Zusätzliche Filterlagen unter Waschberge-Schüttungen, um das Sickerwasser zu einem Drainagegraben abzuleiten, sind nicht sinnvoll, da die Schüttung selbst auf ausreichende Durchlässigkeit bemessen werden muß. Deshalb bietet eine Filterschicht keinen besseren Sickerweg. Es wird außerdem kein Sinn darin gesehen, das verunreinigte Wasser über eine Drainage direkt in den nächsten Fluß zu leiten. Verunreinigungen sollen durch Auswahl entsprechenden Schüttmaterials vermieden werden. Wo aufgrund alter Schüttungen oder anderer ungünstiger Verhältnisse mit kontaminiertem Sickerwasser gerechnet werden muß, ist für ein sicheres Ableiten, z. B. durch ausreichendes Gefälle zu sorgen. Das gilt besonders im Einzugsbereich von Wassergewinnungsanlagen.

## 10 Sättigungssetzungen

Waschbergeschüttungen zeigen wie die meisten Böden und Steinschüttungen ein Verhalten, das als "Sättigungssetzung" oder "Sackung", teilweise auch als "Hydro-Konsolidation" bezeichnet wird. Dieses Phänomen tritt vor allem auf, wenn relativ lose Schüttungen erstmals überflutet oder von unten eingestaut werden. Diese Sättigungssetzungen können je nach Randbedingungen mehrere Prozent der Ausgangsdammhöhe betragen.

Über die Ursachen und Ausmaße im einzelnen, die sich je nach Bodenart und Einflußparameter unterscheiden, wird in einem gesonderten Beitrag in einer späteren Nummer des Mitteilungsblattes berichtet.

## 11 Schlußfolgerungen

Einbau und Verdichtung sind für alle maßgebenden Parameter der Waschberge von ausschlaggebender Bedeutung, wenn dieses Material zur Dammschüttung und Hinterfüllung verwendet wird. Sie haben direkten Einfluß auf Scherfestigkeit, Zusammendrückbarkeit, Durchlässigkeit und auch auf die Sättigungssetzungen.

Dem Strömungsverhalten des Sickerwassers muß entweder dadurch Rechnung getragen werden, daß ziemlich grobe Waschberge verwendet werden, die wenig oder keine Feinanteile enthalten, oder es müssen Standsicherheitsberechnungen mit genau ermittelter tatsächlicher Sickerströmung durchgeführt werden, wobei der ersten Möglichkeit deutlich der Vorzug zu geben ist. Die deutschen Erfahrungen zeigen, daß Waschberge erfolgreich als Dammbaustoff verwendet werden können, selbst in Bergsenkungsgebieten, vorausgesetzt, daß ihr Chemismus oder der des Sickerwassers unproblematisch ist. Der Wassergehalt beim Einbau sollte auf der nassen Seite des Proctoroptimums liegen, um so Sättigungssetzungen zu verhindern.

Aus Verdichtungsversuchen haben sich folgende Richtwerte für den Einbau von Waschbergen ergeben: Schichten von 0,3 bis 0,6 m sollen bei 4 bis 6 Übergängen mit dynamischen Verdichtungsgeräten bearbeitet werden. Das erwähnte Maß ist von der Verdichtungswilligkeit des Ausgangsmaterials abhängig. Lagen von 0,6 m Stärke sind nur mit dynamischen Verdichtungsgeräten mit 4 bis 6 t Betriebsgewicht erfolgreich zu verdichten. Bei statischen Verdichtungsgeräten dürfen Schüttstärken von 0,4 m nicht überschritten werden.

Bei Einhaltung dieser Richtwerte und bei Beachtung der Einschränkungen hinsichtlich des Chemismus haben sich Waschberge als zuverlässiger und konkurrenzfähiger Baustoff erwiesen.

## 12 Literatur

ANNEN, G.; STALMANN, V. 1968: Die Eignung von Nebengesteinen des Kohlenbergbaus (Waschberge) zum Bau von Deichen und Dämmen. In: Technisch-wissenschaftliche Mitteilungen der Emschergenossenschaft und des Lippeverbandes (1968), Heft 7

BAST-E9 1971: Verwendbarkeit des Nebengesteins der Steinkohle als Schüttmaterial für den Straßenbau. Empfehlungen der Bundesanstalt für Straßenwesen.

CARP, H. 1952: Deichbau im Emschergebiet. In Vorträge der Baugrundtagung in Essen, Bautechnik Archiv (1952), Heft 8

HAUß, K.-D.; HEIBAUM, M.H. 1990: Minestone in German waterway engineering. In: Proc. of the 3rd Int. Symp. on reclamation, treatment and utilisation of coal mining wastes Glasgow 1990

KUHN, R. 1985: Binnenverkehrswasserbau. Berlin: Ernst, 1985

SCHMIDBAUER, J. 1952: Standsicherheit von Bergehalten. In: Vorträge zur Baugrundtagung in Essen, Bautechnik Archiv (1952), Heft 8.

SCHÖNE-WARNEFELD, G. 1973: Geotechnische Probleme bei Lagerung und Verwendung von Gruben- und Waschbergen. Bund Deutscher Baumeister, Architekten und Ingenieure, Ortsgruppe Witten, Festschrift, S. 4- 9.

SCHULZ, M. 1979: Hydrogeochemische Felduntersuchungen zum Auslaugeverhalten verschiedener Bergematerialien des Nordrhein-Westf. Steinkohlegebietes und einer Hochofenschlacke. Kiel, Universität, Dissertation, 1979