

**WIRTSCHAFTLICH-TECHNISCHE MASSNAHMEN ZUR ABSCHIRMUNG
VON GROSSFLÄCHIGEM GRUNDWASSERZUTRITT**

von

Herbert Fagerer

Bundesministerium für Handel, Gewerbe und Industrie;
Grundlagen der Rohstoffversorgung, Heft 7, Geotechnik
und Sicherheit im Bergbau - Wasser und Bergbau, Seminar
in Bad Mitterndorf vom 9. bis 11. Mai 1982, Wien 1984

**WIRTSCHAFTLICH-TECHNISCHE MASSNAHMEN ZUR ABSCHIRMUNG
VON GROSSFLÄCHIGEM GRUNDWASSERZUTRITT**

von
Herbert Fagerer

Zusammenfassung

Zur großflächigen Abschirmung des Grundwassers in Lockerböden und geklüftetem Fels werden in der Regel Dichtungswände und Injektionsschleier hergestellt.

Aufgrund seiner großen Leistungsfähigkeit hat sich das Schmalwandverfahren meist als wirtschaftlichste Abdichtungsmethode gegenüber anderen Verfahren durchgesetzt. Tagesleistungen von etwa 500 m² Schmalwandfläche sind ohne Schwierigkeiten erzielbar. Die Tagesrekordleistungen liegen bei etwa 1.000 m². Daraus ergeben sich die niedrigen Herstellungskosten, die etwa 1/3 des Quadratmeterpreises von Schlitzdichtungswänden betragen.

Der Vorteil gegenüber den Spundwänden liegt in den wesentlich geringeren Materialkosten und der meist höheren Dichtigkeit. In ihrem Abdichtungserfolg sind die Schmalwände durch das Zusammenwirken von Bodenverdichtung (Verringerung des Durchlässigkeitswertes im verdichteten Bereich) und Dichtungsmasse anderen Verfahren ebenbürtig.

Ein wesentlicher Nachteil ist jedoch die Anwendungsgrenze bei einer Tiefe von ca. 24 m, welche außer mit Hilfe von aufwendigen Hilfsmaßnahmen selten überschritten wurde.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß mit der Schmalwand ein sehr anpassungsfähiges Abdichtungsverfahren zur Verfügung steht, welchem durch seine Weiterentwicklung in der Zukunft größere Anwendungsbereiche gesichert sind.

Für eine Abdichtung des Untergrundes wurden in den letzten Jahrzehnten die unterschiedlichsten Verfahren entwickelt. Die Wahl der geeigneten Lösung wird heute im wesentlichen von den Herstellungskosten, der für die Herstellung zur Verfügung stehenden Zeit und den bodenbedingten Anwendungsgrenzen bestimmt.

Der in letzter Zeit immer stärker geforderte Schutz unserer Umwelt, und damit im besonderen die Reinhaltung des Grundwassers, hat die Anwendungsgebiete der Verfahren für eine großflächige Abschirmung, wie sie sich für die Dammdichtungen von Rückstauräumen großer Flußkraftwerke im Flachlandbereich bewährt haben (Abb. 1), auch auf die Abschirmung von Müllhalden, Sonderdeponien und Großkläranlagen erweitert. Ebenso werden diese Verfahren als Schutzbauten zur Grundwasserreinhaltung bei Raffinerien, Tankfeldern, Kohlelagern für Wärmekraftwerke, sowie in Verbindung mit einer entsprechenden Wasserhaltung als Auftriebssicherung verschiedenster Grundbauwerke eingesetzt.

Eine wirtschaftliche Herstellung von Großbaugruben ist ohne der Anwendung dieser Verfahren ebenso undenkbar (Abb. 2).

Als wesentliche Grundwasserträger sind in unseren Breiten die quartären Lockergesteine, wie Fluß- und Moränenschotter der oberen Bodenschichten anzutreffen.

Diese werden in der Regel von tertiären Tonen und Tonmergel unterlagert.

Da die letztgenannten Formationen im allgemeinen größere Mächtigkeiten besitzen, bieten sich diese als Einbindungshorizonte für alle vertikalen Abdichtungsmaßnahmen an. Dadurch können mit relativ geringem Aufwand dichte Wannen und Rinnen hergestellt werden (Abb. 3).

Eine wirtschaftliche Beurteilung ist im wesentlichen vom Ausmaß der erforderlichen Dichtungsfläche - Fixkosten zu variablen Kosten - und dem erzielbaren Dichtungseffekt - der Durchlässigkeitswert K_g der Dichtungsmaßnahme - abhängig. Die durch die Bodenverhältnisse gegebenen Anwendungsgrenzen können bei allen Verfahren durch geeignete Hilfsmaßnahmen erweitert werden.

Je nach dem Anwendungsbereich und der damit verbundenen Aufgabe wird grundsätzlich zwischen vorübergehenden und dauerhaften Abdichtungen unterschieden.

Bei der Umschließung einer Baugrube braucht der Dichtungserfolg nur für die Zeit der Herstellung des gewünschten Bauwerkes sichergestellt sein. Es handelt sich daher um eine vorübergehende oder temporäre Abdichtung.

Umschließungswände für Mülldeponien, Kohle- und Tanklager sowie Raffinerien und künstliche Gerinne müssen den Abdichtungserfolg auf Dauer gewährleisten und sind daher als permanente Dichtungen zu bezeichnen. Hier wird meist sogar die Lebensdauer der gesamten Baumaßnahme von der Qualität der Untergrunddichtung bestimmt.

In besonderen Fällen, wie beim Bau von Kläranlagen und Raffinerien können beide Funktionen von der Dichtungswand gefordert werden:

Zum ersten als temporäre Maßnahme während des Bauzustandes, insbesondere zur Herstellung der Bauwerksfundamente, die oft unterhalb des generellen Grundwasserspiegels liegen und in der Folge während des Betriebes solcher Anlagen zum Schutz gegen Grundwasserverschmutzung.

1. ABDICHTUNGSVERFAHREN

Nach der Herstellungsart stehen grundsätzlich folgende Lösungsmöglichkeiten zur Verfügung (Abb. 4):

- Verdrängung oder Aushub des anstehenden Bodens und Einbau eines dichtenden Materials
- oder
- Verringerung der Durchlässigkeit durch Verminderung oder Füllen des vorhandenen Porenvolumens.

Die Herstellung der Spundwände erfolgt durch Einrammen bzw. Einvibrieren von besonders ausgebildeten Spundwandprofilen, in der Regel aus Stahl, welche durch geeignete Schloßverbindungen eine kontinuierliche Dichtungswand ergeben (Abb. 5).

Der Vorteil dieses Verfahrens ergibt sich aus der Möglichkeit, daß bei vorübergehenden Abdichtungen die einzelnen Profile wiedergewonnen und somit unter Umständen mehrmals verwendet werden können.

Außerdem kann der Spundwand eine statische Tragfunktion zugeordnet werden.

Die relativ hohen Stahlkosten sind der wesentliche Grund dafür, daß dieses Verfahren für permanente Abdichtungen nur mehr in Sonderfällen Verwendung findet.

Die Wandstärke ergibt sich aus der Dicke der Spundwandprofile.

Bei der Herstellung von Schlitzwänden werden grundsätzlich das Einphasen- und das Zweiphasenverfahren unterschieden. Die Herstellung der Schlitzdichtungswände aus Suspensionen erfolgt in der Regel im Einphasenverfahren. Das heißt, das Dichtungsmittel ist gleichzeitig Stützflüssigkeit. Aus erdstatischen oder baubetrieblichen Gründen werden Schlitzwände in einzelnen Abschnitten begrenzter Länge hergestellt.

Jeder Abschnitt bildet eine Einheit und wird als Schlitzwandelement oder Schlitzwandlamelle bezeichnet (Abb. 6). Zur Herstellung einer Lamelle wird der Boden mit schweren Spezialgreifern unter dauernder Zufuhr der Stützflüssigkeit ausgehoben (Abb. 7). Die verwendete Suspension stützt während des Aushubvorganges die seitlichen Erdwände. Die Länge einer Lamelle wird durch die Öffnungsweite des Schlitzwandgreifers, die Wanddicke durch die Breite des Grabwerkzeuges bestimmt. Durch Aneinanderreihen einzelner Lamellen wird eine durchgehende Dichtungswand hergestellt.

Bohrpfahlwände werden in der Regel mittels verrohrter Großbohrungen hergestellt (Abb. 8).

Am unteren Ende des Vortreibrohres befindet sich ein gezahnter Hartmetallschneidschuh.

Dieses Stahlrohr wird unter gleichzeitigem Ausräumen des Bohrkernes mittels eines in der Regel am Seil geführten Bohrgreifens abgeteuft.

Bei der Dichtungsbohrpfahlwand werden die Bohrlöcher nach Erreichen der Solltiefe mit einer Dichtungssuspension unter gleichzeitigem Ziehen der Verrohrung ausgefüllt. Aus dem gewählten Bohrdurchmesser und dem Überschneidungsmaß ergibt sich die Mindestwandstärke (Abb. 9).

Injektionsschleier und -wände erhält man durch Aneinanderreihen einer Anzahl von Injektionsbohrungen. Die Wandstärke kann durch die Herstellung mehrerer Injektionsreihen beliebig variiert werden.

Düsenstrahlwände werden im Prinzip wie Injektionswände hergestellt.

Bei diesem Verfahren wird eine Injektionslanze in den abzudichtenden Boden eingespült.

Im Gegensatz zu den herkömmlichen Injektionsverfahren wird dabei mit Drücken zwischen 100 bis 300 bar gearbeitet. Dabei wird über spezielle Hochdruckdüsen mit hoher hydraulischer Energie verpreßt.

Die Dichtungssuspension erreicht dabei Strahlgeschwindigkeiten von 100 bis 200 m/sec., und durchdringt daher auch Böden, die für normale Injektionen jenseits der Anwendungsgrenzen bei Verwendung von Bentonit-Zementgemischen liegen. Parallel zum Injektionsvorgang wird die eingespülte Lanze wieder gezogen.

Bei den Verdichtungswänden wird ein an einem Rohr geführter Tiefenrüttler in den Boden bis auf Solltiefe einvibriert. Dabei können über das Führungsrohr Korngrößen, die dem Boden für eine optimale Lagerungsdichte fehlen, zugeführt werden. Dadurch kann eine Verbesserung der Durchlässigkeitsbeiwerte erreicht werden.

Der wesentliche Anwendungsbereich des Verfahrens liegt jedoch bei der Tragfähigkeitserhöhung von Böden in der Baugrundverbesserung.

2. SCHALWANDVERFAHREN

Aufgrund von wirtschaftlich-technischen und terminlichen Vorteilen gegenüber den anderen Dichtungsmaßnahmen hat sich, bedingt durch seine ständige Weiterentwicklung, in den letzten Jahren das Schmalwandverfahren für die großflächige Abschirmung des Grundwassers immer mehr durchgesetzt.

Nach dieser Methode werden heute Dichtungswände in Lockergesteinen bis zu einer Tiefe von 15 bis 24 m ohne Zusatzmaßnahmen erfolgreich hergestellt.

In norddeutschen Räumen wurde bereits eine Schmalwanddichtung für eine Baugrubenumschließung bis auf eine Tiefe von 27 m niedergebracht.

2.1 Herstellungssystem

Grundsätzlich kommen zwei Herstellungssysteme zur Anwendung:

- Zum einen, ein Verfahren, bei dem ein an einem lotrechten Mast geführter Tiefenrüttler wie bei der Herstellung von Verdichtungswänden in den Boden einvibriert wird (Abb.10). Über das Führungsrohr wird jedoch hier ein Dichtungsmittel zugeführt. Um die gewünschte wandartige Ausbildung sicherzustellen, sind in der Höhe der Rüttlerspitze beidseitig vom eigentlichen Rüttlerkörper zwei flügelartige Stahlelemente angebracht.

Die Spannweite der Flügel ergibt somit die Länge der einzelnen Schmalwandlamellen.

Die Stärke der Flügel beträgt etwa 7 cm, der Durchmesser des Rüttlerkörpers ca. 30 cm.

Unmittelbar unterhalb der Flügelenden befinden sich am Rüttlerkörper die Austrittsöffnungen für das Dichtungsmaterial. Diese Düsen erlauben eine Injektion in horizontaler Richtung auf die Flügelenden zu.

- Zum anderen, ein System, bei dem ein besonders ausgebildeter Träger IPB 600 bis 1.000 mittels eines an einem Mäkler geführten Aufsatzrüttlers in den Boden eingerüttelt wird (Abb. 11). Diese Methode hat sich in den letzten Jahren immer mehr durchgesetzt und wird heute in dieser Art bis auf wenige Ausnahmen generell angewendet.

Die dabei eingesetzte Gerätegruppe besteht im wesentlichen aus (Abb. 12)

- einer stationären Aufbereitungsanlage für das Injektionsgut
- einer selbstfahrenden Injektionsanlage mit Reservebehälter
- einem schweren Raupenbagger mit einem Mäkler mit ca. 25 m Arbeitshöhe

- einem von vier Elektromotoren betriebenen Tandem-Aufsatzrüttler mit einer Leistung von 220 kW
- einem fahrbaren Stromaggregat von 600 kVA Leistung zur Stromversorgung von Rüttler und Injektionsstation
- sowie einer entsprechenden Anzahl von Mischguttransportfahrzeugen für die Beförderung des Injektionsgutes von der stationären Mischanlage zur Einbaustelle.

Zur kompletten Einrichtung gehören noch die erforderlichen Werkstatt- und Magazincontainer sowie ein Schweißplatz mit Portalkran und Rammböhlenlager.

2.2 Herstellungsverfahren und Anwendungsgrenzen

Durch das Einrütteln der Bohle versucht man, den Boden in deren unmittelbaren Bereich in einen pseudoflüssigen Zustand zu versetzen, um sowohl die Mantelreibung als auch den Eindringwiderstand der Bohlschneide zu reduzieren.

Dabei wird sowohl über Verpreßrohre, welche in den Flansch-Stegecken der Bohle angeschweißt sind und an der Bohlschneide in Austrittsdüsen enden als auch über einen Vorlaufgraben von der Geländeoberfläche her eine Dichtungsmasse zugeführt (Abb. 13).

Der Vorlaufgraben ist eine vor der Schmalwandherstellung ausgehobene seichte Künette, die als Reservoir für die Dichtungsmasse beim Einrütteln der Bohlen dient (Abb. 14).

Beim Ziehen wird der freiwerdende Hohlraum unterhalb der Bohlschneide mit der gleichen Dichtungsmasse ausgefüllt. Durch fortlaufendes Aneinanderreihen der so erstellten Dichtungskörper wird eine geschlossene Dichtungswand erreicht (Abb. 15).

Im Gegensatz zum Rammen, wie es in der Anfangszeit der Schmalwandherstellung üblich war (ETMO-Verfahren), werden durch das Einrütteln Schwingungen mit mehr oder weniger rhythmischen Impulsen in den Boden eingetragen, welche vom System Rüttler, Bohle und Boden abhängig sind.

Die kinetischen Kräfte entfestigen durch die Erschütterungen das Gefüge des Bodens teilweise, sodaß sich die an sich festen Kornbestandteile in einem pseudoflüssigen Zustand befinden.

Das heißt, durch die Vibration wird bis in relativ große Tiefen und Entfernungen die innere Reibung zwischen den Festbestandteilen weitgehend aufgehoben. Bei verdichtungswilligen Böden, Böden mit relativ geringer Lagerungsdichte, lagert sich das Kornmaterial entsprechend der Korngröße, Kornform und Oberflächenbeschaffenheit bruch- und verformungslos um.

Außerdem weicht der Boden beim Einrütteln der Bohle bruchlos zur Seite aus.

Durch diese beiden Vorgänge verringert sich das Porenvolumen des Bodens und es entsteht ein verdichteter Bereich (Abb. 16). Durch diesen Effekt ergibt sich bei der Schmalwandherstellung zusätzlich eine wesentliche Verringerung der Durchlässigkeit des abzudichtenden Bodens. Dadurch sackt der Boden auch von der Oberfläche her nach und es bildet sich im unmittelbaren Bohlenbereich ein Krater, der sich mit zunehmendem Eindringen der Bohle vergrößert. Bei der Freilegung einer Schmalwand zeigt sich das Vorhandensein dieses "Kraters" als eine Vergrößerung des Vorlaufgrabens.

Wird keine besondere Ausbildung eines Schmalwandkopfes gefordert, kann bei besonders verdichtungswilligen Böden, auf die Herstellung eines Vorlaufgrabens verzichtet werden, weil sich bei diesen durch das Nachsacken im Bohlenbereich von selbst ein Graben in der Schmalwandachse ausbildet. Auch sonst sollte der Vorlaufgraben möglichst klein gehalten werden. Große Abmessungen wirken sich meist nachteilig auf die Standfestigkeit der relativ hohen und etwa 80 to schweren Schmalwandgeräte aus.

Am Institut für Konstruktiven Tiefbau in Leoben durchgeführte Modellversuche bestätigen das im Baubetrieb festgestellte Nachfließen des Bodens von der Oberfläche her und die damit verbundene Kraterbildung. Ebenso konnte das bruchlose Ausweichen des Bodens beim Eindringen der Bohle beobachtet werden.

Bei Annäherung an Bodenbereiche, die besonders verdichtungswillig sind, tritt, noch ehe man diese erreicht, eine Vorverdichtung auf. Der dafür wesentliche Einflußbereich erstreckt sich erfahrungsgemäß auf einen Umkreis von etwa 5 m. Befinden sich nun in diesem Einflußbereich Bauwerke, so sind bei diesen Setzungsschäden nicht auszuschließen. Durch die oben angeführte Vorverdichtung kann sich das Porenvolumen des nachher angetroffenen Bodens bereits soweit verringert haben, daß sich dieser nicht mehr verdrängen läßt.

Das heißt, er hat die optimale Verdichtung erreicht. In diesem Fall ergeben sich enorm hohe Rüttelzeiten und das Schmalwandverfahren ist somit an die Grenze seiner Wirtschaftlichkeit angelangt.

Bei konglomerierten, also stark verkitteten Kiesen - auch mit großem Porenvolumen - ist die Schmalwandherstellung ohne Hilfsmaßnahmen ebenfalls unwirtschaftlich.

Von wesentlicher Bedeutung für die Grenze der Anwendbarkeit des Rüttelschmalwandverfahrens sind ferner nicht nur Korngröße, Lagerungsdichte und eventuelle Verkittung, sondern auch die Mächtigkeit, in welcher die einzelnen Bodenschichten anstehen.

Weiters muß beachtet werden, daß sich bei der Herstellung einer Schmalwand in bindigen Böden zur schwingenden Masse des Rüttlers und der Bohle noch eine so große mitschwingende Bodenmasse addiert, daß der erforderliche Energiebedarf soweit ansteigen kann, bis das Gerät zum Stillstand kommt.

Beim Auftreffen der Bohle auf felsartige Einlagerungen ändert der Rüttler sofort sein Schwingungsverhalten. Die zur Verfügung stehende Energie kann dann nicht mehr in den Boden übertragen werden. Dadurch ist kaum mehr eine Dämpfung des schwingenden Systems vorhanden.

Da die Bohlenschneide in den Fels nicht eindringen kann, stößt sie den Rüttler nach oben. Ehe sie wieder auf den Fels auftrifft, vollbringt das schwingende System im Schweben Leerhübe.

Die Frequenz, die nun dem Boden mitgeteilt wird, ist somit nur mehr ein Bruchteil der Erregungsfrequenz des Rüttlers. Dadurch geht der Rüttelvorgang in sein unregelmäßiges Rammen über. In diesem Falle werden unter der Bohlenschneide Druckspannungen erzeugt, die zu einem Bruch des anstehenden Gesteins führen.

Die Folge ist eine enorme mechanische Beanspruchung der Rüttelgarnitur und die Herstellung der Schmalwand ist dann nurmehr durch geeignete Hilfsmaßnahmen möglich.

2.3 Hilfsmaßnahmen

Als Hilfsmaßnahmen zur Erweiterung der Anwendungsgrenzen des Schmalwandverfahrens bieten sich folgende Möglichkeiten an:

- Ein Bodenaustausch im Bereich der Schmalwandachse
Dieser ist nur bis zum Erreichen des Grundwasserspiegels möglich. Bei Aushubtiefen von über 5 m wird jedoch auch dieses Verfahren, bedingt durch die begrenzte Standfestigkeit des Bodens und der damit verbundenen großen Aushubmassen, zu kostenintensiv.
- Vorauseilende Perforationsbohrungen
Diese Maßnahme wurde schon mehrmals erfolgreich ausgeführt. Dabei werden in der Schmalwandachse entsprechend dem Schrittmaß Entlastungs- bzw. Auflockerungsbohrungen bis zur Solltiefe niedergebracht. Dadurch wird ein freier Raum für das Ausweichen des Bodens geschaffen und der Eindringwiderstand der Bohlschneide erheblich reduziert. Bei konglomerierten Kiesen und felsartigen Einlagerungen größerer Ausdehnung erreicht man durch diese Maßnahme zwar eine Verringerung des Eindringwiderstandes der Bohlschneide, jedoch selten eine Veränderung des Rammverhaltens, sodaß die Beanspruchung der Rüttelgarnitur nicht wesentlich vermindert würde.
- Vorauseilende Lockerungssprengungen
Dabei werden in der Schmalwandachse Sprengbohrungen niedergebracht und die Ladungen vor Schmalwandherstellung über längere Strecken abgetan. Bohrlochabstand und Lademenge werden je nach Bodenverhältnissen auf den gewünschten Wirkungsbereich der Sprengung abgestimmt. Durch die Auflockerungsschüsse erfährt der Boden eine Zertrümmerung und Gefügestörung, wobei auch Konglomerate soweit entfestigt werden, daß diese für die Herstellung einer Schmalwand keine Schwierigkeiten mehr darstellen.

2.4 Dichtungsmasse

Die Grundstoffe der Dichtungsmasse sind, wie bei verschiedenen anderen Verfahren auch, Wasser, Bentonit, Zement und als Füller in der Regel Kalksteinmehl.

Der Standort der Aufbereitungsanlage für die Herstellung der Schmalwandsuspensionen wird im wesentlichen von terminlichen und wirtschaftlichen Überlegungen bestimmt. Erforderlichenfalls kann die Dichtungsmasse auch von einer zentralen Mischanlage mittels Großtransportern über eine Strecke von über 50 km zugefahren werden.

Bedingt durch die großen Transportwege und -zeiten ist in diesem Falle ein stationärer Zwischenbehälter mit ausreichendem Fassungsvermögen auf der Baustelle erforderlich. Beide Behälter müssen mit Umwälzpumpen ausgestattet sein, um die Suspension rühren zu können. Außerdem muß ein entsprechender Abbindeverzögerer zugegeben werden.

Die Aufbereitung der Suspension erfolgt durch Zwangsmischung über eine Panzerpumpe. Dadurch erhält man relativ kurze Mischzeiten.

Der Mischvorgang läuft nach folgenden Arbeitsschritten ab:

1. Wasserbeschickung bei gleichzeitiger Rotationsbewegung des Wassers. Dauer ca. 29 sec.
2. Zugabe von Bentonit. Dauer 15 sec. Mischdauer von Wasser und Bentonit ca. 2 min.
3. Zugabe von Zement. Dauer 15 sec.
4. Zugabe des Füllers. Dauer 2 min.

Mit einem abschließenden Mischvorgang von 3 Minuten ergibt sich eine Gesamtmischzeit von ungefähr 8 Minuten.

Für ca. 2 m³ einbaufertiger Dichtungsmasse mischt man gewöhnlich:

1050 Liter Wasser	
50 kg	Aktiv Bentonit B II
350 kg	PZ 275
1680 kg	Kalksteinmehl
	(Mahlfeinheit 85 % < 0,09 mm).

Durch Variationen der Wasserzugabe kann die Dichtungsmasse in ihrem Fließverhalten eingestellt werden.

Weiters beeinflußt der Wassergehalt die Endfestigkeit, die Erosionsbeständigkeit sowie Schrumpfverhalten und Filtratwasserabgabe.

Der Bentonitanteil gewährleistet die Stabilität der Suspension; das heißt, er verhindert ein Aussedimentieren von Zement und Steinmehl. Durch den Zementanteil wird im wesentlichen die Endfestigkeit der abgebundenen Dichtungsmasse beeinflußt. Damit gewährleistet der Zement auch die Erosionsbeständigkeit.

Mahlfeinheit und Korngrößenverteilung des Füllers sind von wesentlichem Einfluß auf das Fließverhalten sowie auf Endfestigkeit und Dichtheit der Schmalwandmasse. Sämtliche Eigenschaften der Dichtungsmasse sind außerdem von Luftfeuchtigkeit und -temperatur sowie der Temperatur des Anmachwassers und der Zuschlagstoffe abhängig. In der Regel werden Ks-Werte von 10-8 m/sec und Endfestigkeiten von $W_{28} = 0,7 - 2,0 \text{ MN/m}^2$ gefordert.

Gegebenenfalls kann das Abbindeverhalten durch die Zugabe von Verzögerungsmitteln den jeweiligen Erfordernissen angepaßt werden.

Verzögerungszeiten bis zu 7 Stunden sind damit ohne größeren Aufwand erreichbar.

Muß eine Schmalwand im strömenden Grundwasser hergestellt werden, so kann das Abdriftverhalten der Dichtungsmasse wie in der Injektionstechnik durch die Zugabe von Abbindebeschleunigern oder Wasserglas eingestellt werden, sodaß eine geschlossene Dichtungswand gewährleistet wird.

2.5 Kontrollen während der Schmalwandherstellung

Eine wichtige und einfache Kontrolle ergibt sich aus der Beobachtung der Rütteleinheit. Wie zuvor erwähnt, ändert das Gerät beim Durchhörern unterschiedlicher Bodenschichten sein Rüttelverhalten. Damit kann sich der Geräteführer auf die gegebenen Bodenverhältnisse entsprechend einstellen.

Die wesentlichen Kontrollen für die Qualität einer Dichtwand sind:

- Die Kontrolle der erforderlichen Einbindetiefe in den Dichtungshorizont und
- die Kontrolle der geforderten Dichtheit der Wand.

Um die Tiefenlage und die Eigenschaften des Einbindehorizontes möglichst genau zu erfassen, ist es unerlässlich, vor Herstellung einer Dichtungswand eine entsprechende Anzahl von Erkundungsbohrungen niederzubringen.

Ebenso sollte durch Rammsondierungen mit einer überschweren Rammsonde die erforderliche Einbindetiefe vorweg festgestellt werden.

Während der Herstellung der Schmalwand wird für jede einzelne Bohle die Stromaufnahme der Rüttlerantriebsmotoren über die Rüttelzeit automatisch registriert. Damit können sowohl Bodenschichten unterschiedlicher Rammbarkeit als auch die Einbindung in den dichten Horizont an der schwankenden Stromaufnahme festgestellt werden (Abb. 17).

Zur direkten Kontrolle kann fallweise eine gestörte Bodenprobe von der Bohlschneide abgenommen werden.

Zur Kontrolle der geforderten Dichtheit werden neben laufenden Kontrollen der Zusammensetzung der Schmalwandsuspension durch Freilegung und Entnahme von Probestücken aus der fertiggestellten Schmalwand die geforderte Mindeststärke, der Durchlässigkeitsbeiwert und die Festigkeit laufend überprüft (Abb. 18).

Eine wichtige Kontrolle während der Herstellung ergibt sich aus der Menge der eingebauten Dichtungsmasse. Diese kann so wohl mit Durchflußmengenmesser automatisch registriert, als auch über den Tagesdurchschnitt rückgerechnet werden.

Bei fertiggestellten Baugruben kann aus den gemessenen Pumpmengen der K-Wert der Gesamtdichtung errechnet werden. Ebenso wird in der Regel der Abdichtungserfolg über Pegel und Beobachtungsbrunnen kontrolliert.

Literatur:

Arwanitakis, M., Fagerer, H., Gregor, P.: Traunkraftwerk Traun - Pucking, Schmalwandherstellung. - Mayreder-Zeitschrift 27, 24-30, 1982.

Arwanitakis, M., Polack, R.: Schutzbeschichtung von Schmalwandträgern. - Schweißtechnik 38, 2-6, 1984.

Lackner, E.: Technischer Jahresbericht 1981 des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen". - Die Bautechnik 58, 400 ff., 1981.

Smolczyk, U. (ed.): Grundbautaschenbuch. - 3. Aufl. Berlin 1980.

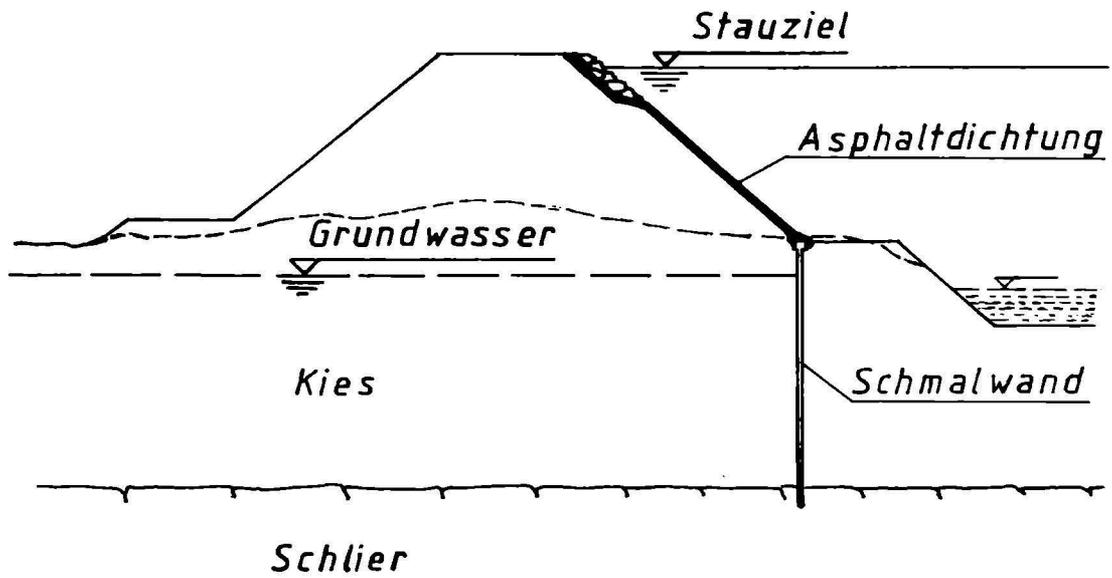
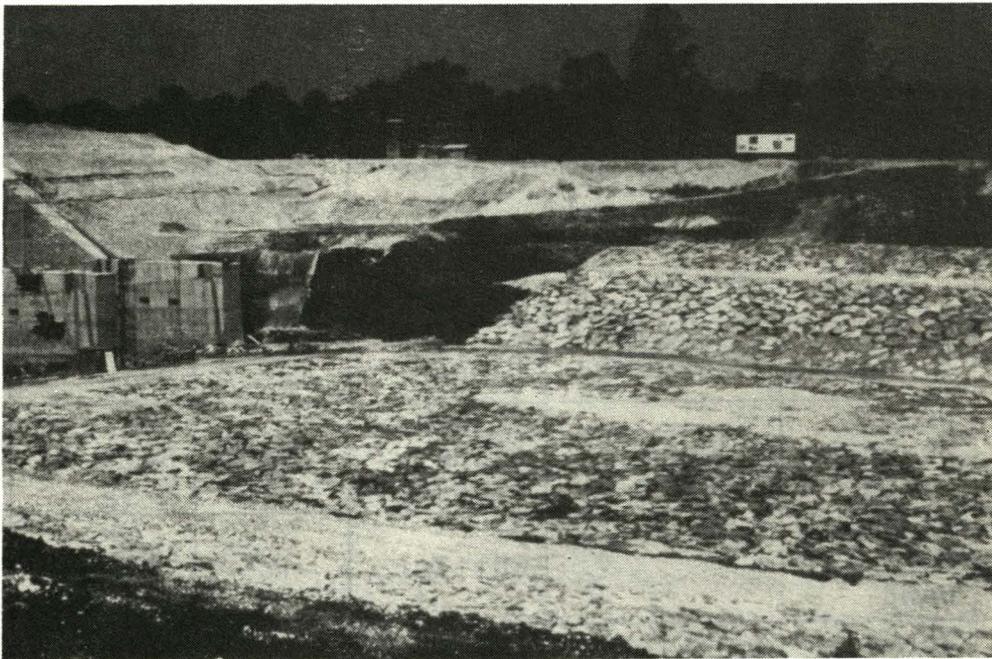


Abb. 1: Rückstaudichtung eines Flußkraftwerkes



**Abb. 2: Baugrube für die Errichtung eines Flußkraftwerkes
(Abdichtung mittels Schmalwand)**



Abb. 3: Unterwassereintiefung eines Flußkraftwerkes
(Herstellung des neuen Flußbettes im Schutze einer Schmalwand)

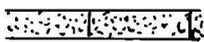
Verfahren	Wandstärke	Werkzeug	K-Wert	Herst. in Boden
Schlitzwand	 40 - 120 cm	Greifer	10^{-9}	Sand Kies (Fels)
Bohrpfehlwand	 bis ca. 100cm	Greifer u.a.	10^{-8} bis 10^{-9}	Sand Kies (Fels)
Spundwand		Rambär Rüttler	Schloß durchl.	Sand Kies
Injektionswand		Bohrung Lanzen	bis 10^{-9}	Sand bis Fels
Düsenstrahlwand		Injektionslanzen	bis 10^{-9}	Schluff Sand Kies
Verdichtungswand		Rüttler	10^{-5}	Kies
Schmalwände		Rüttler	10^{-9}	Sand Kies

Abb. 4: Zusammenfassung der einzelnen Abdichtungsverfahren

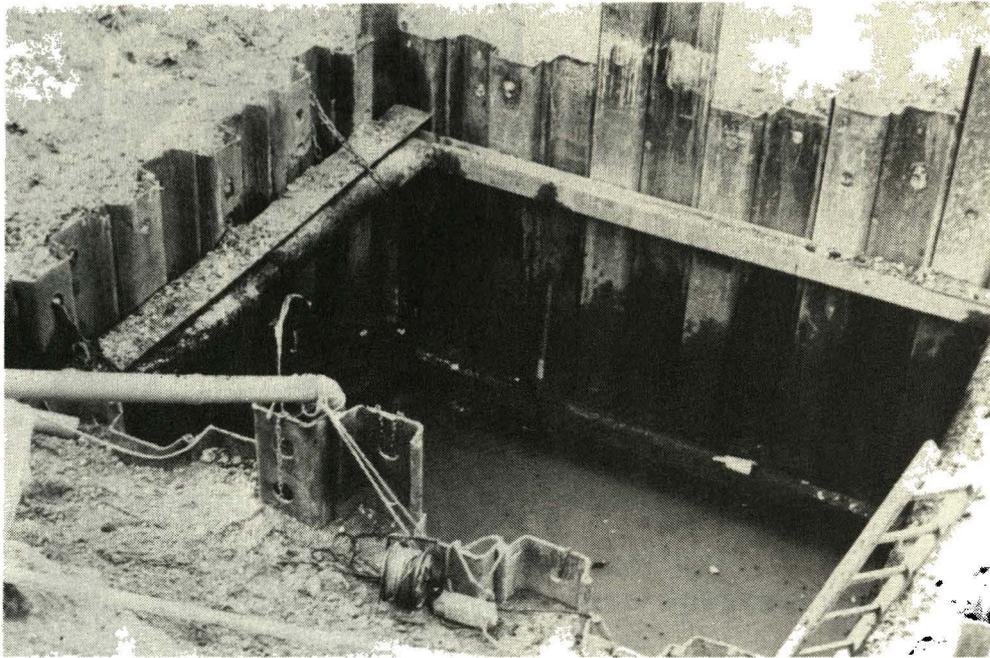


Abb. 5: Spundwand

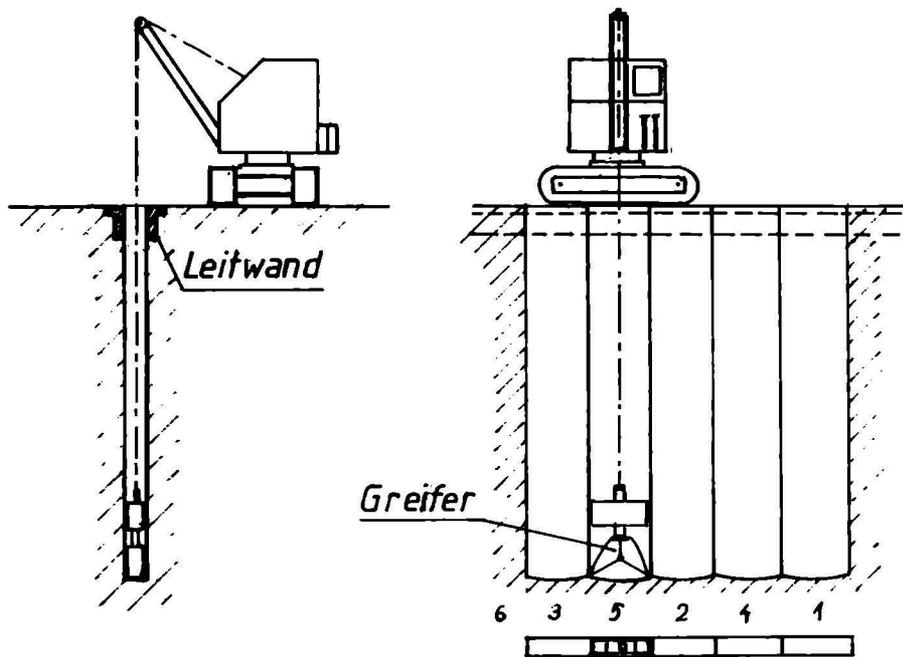


Abb. 6: Schematische Darstellung der Schlitzwandherstellung



Abb. 7: Schlitzwandgreifer

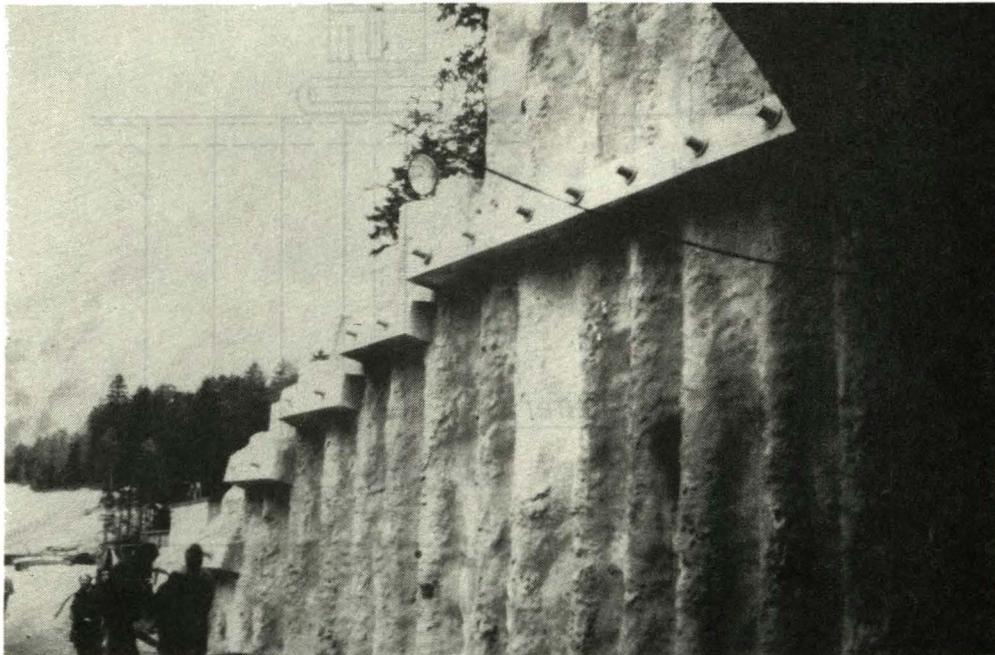


Abb. 8: Verankerte Bohrpfehlwand

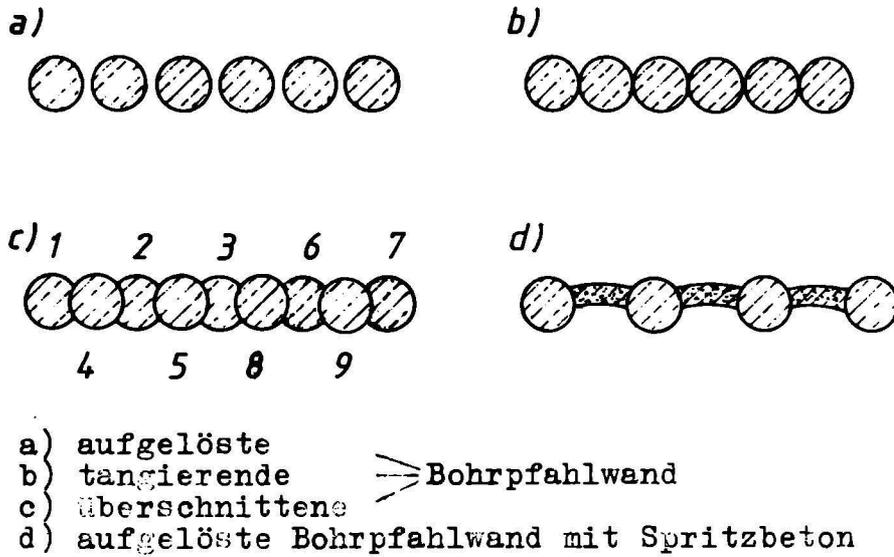


Abb. 9: Horizontalschnitt durch verschiedene Pfehlwände

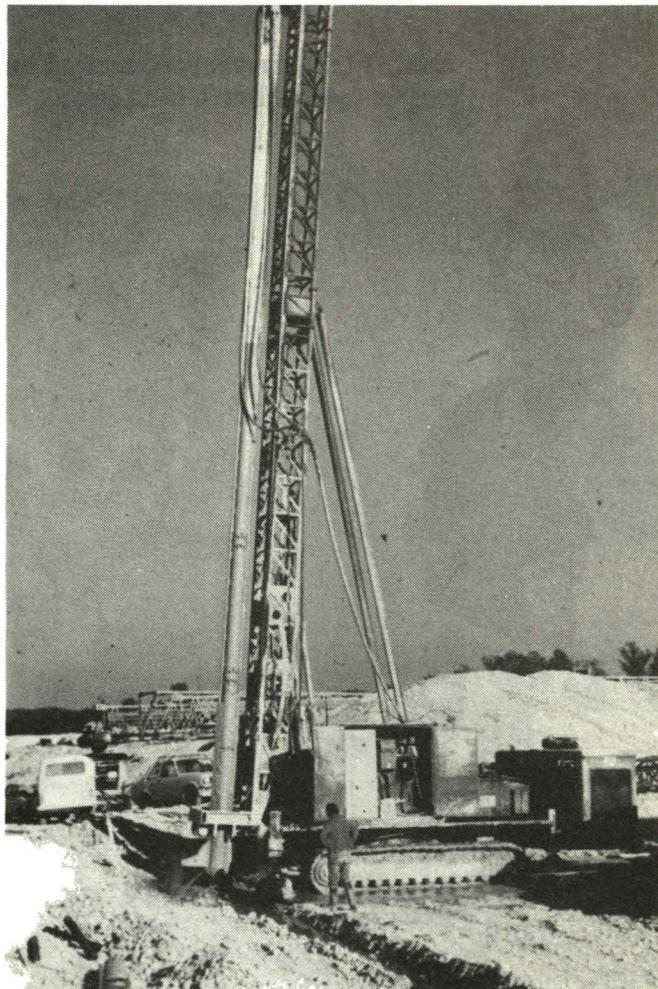


Abb. 10: Schmalwandherstellung
mittels Tiefenrüttlers

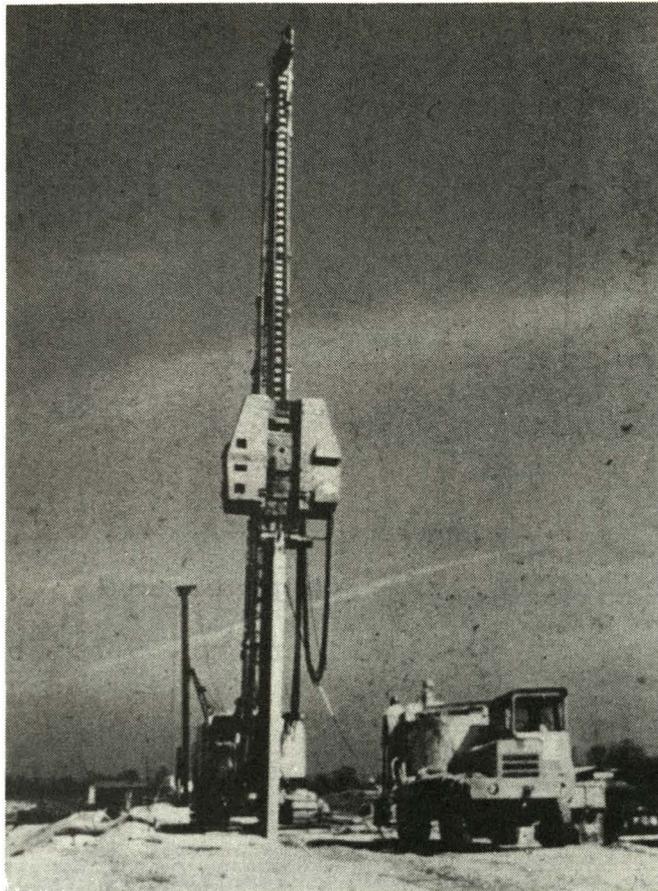


Abb. 11: Schmalwandherstellung mittels Rammböhrle und Aufsatzrüttlers

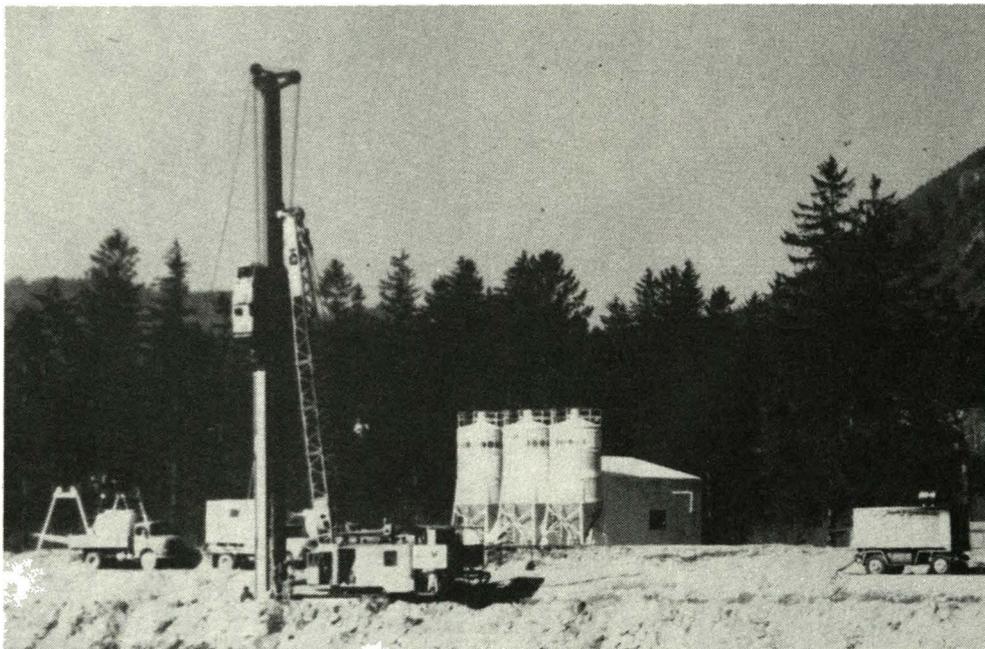


Abb. 12: Gerätegruppe zur Schmalwandherstellung

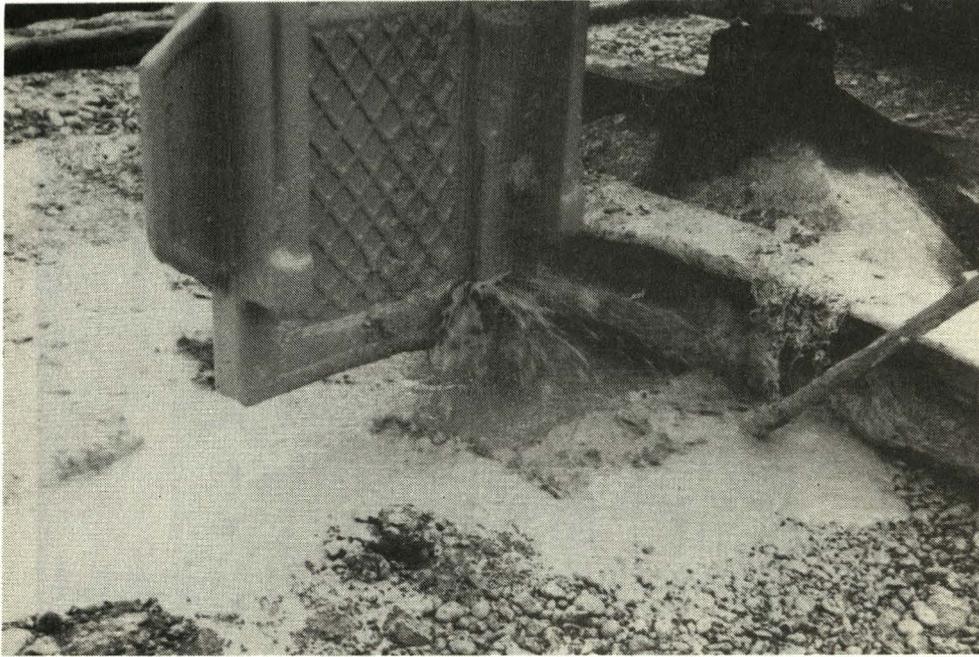


Abb. 13: Bohlenschneide mit Austrittsdüsen

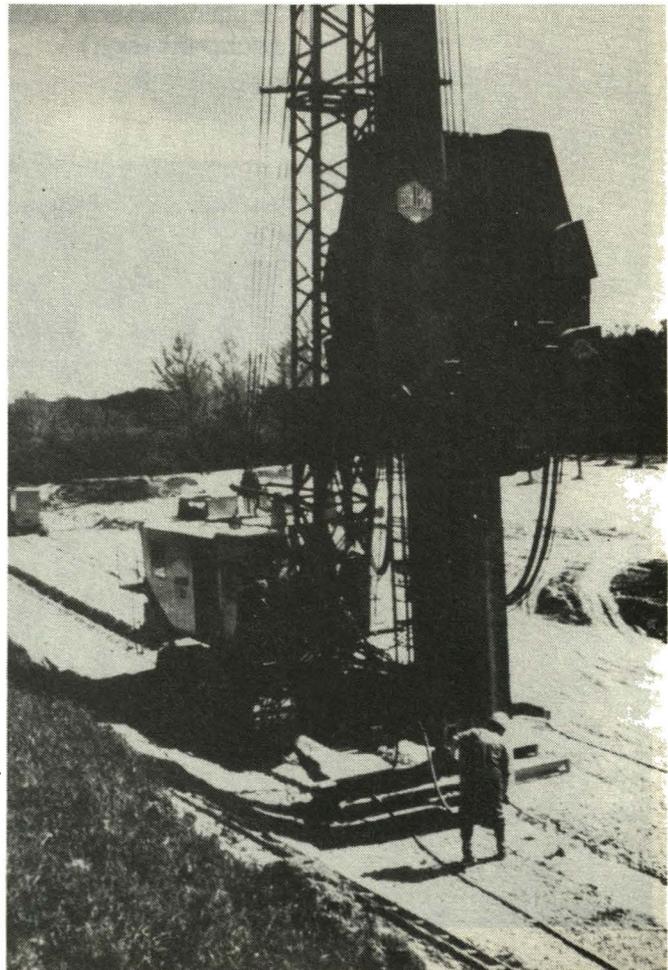


Abb. 14: Vorlaufgraben und Rüttelgarnitur

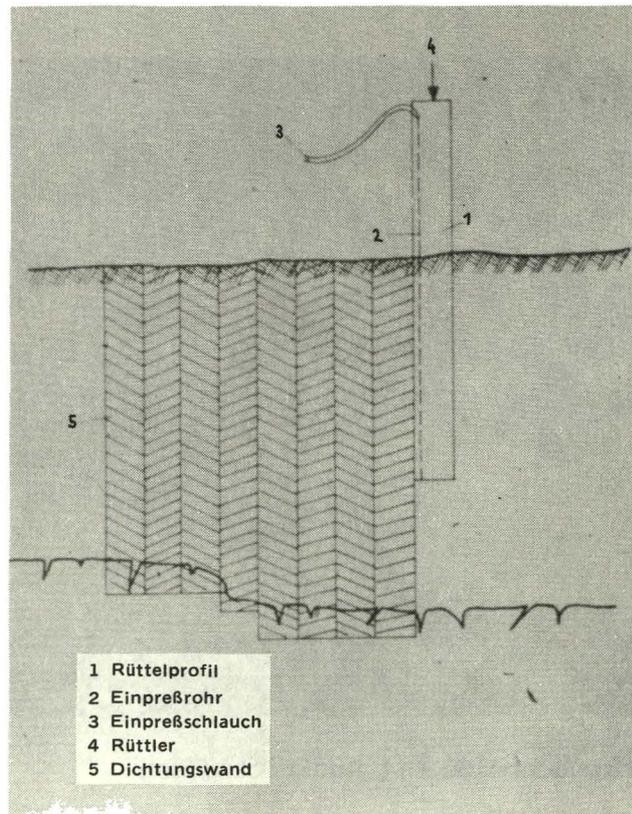


Abb. 15: Seitenansicht einer Schmalwand (schematisch)

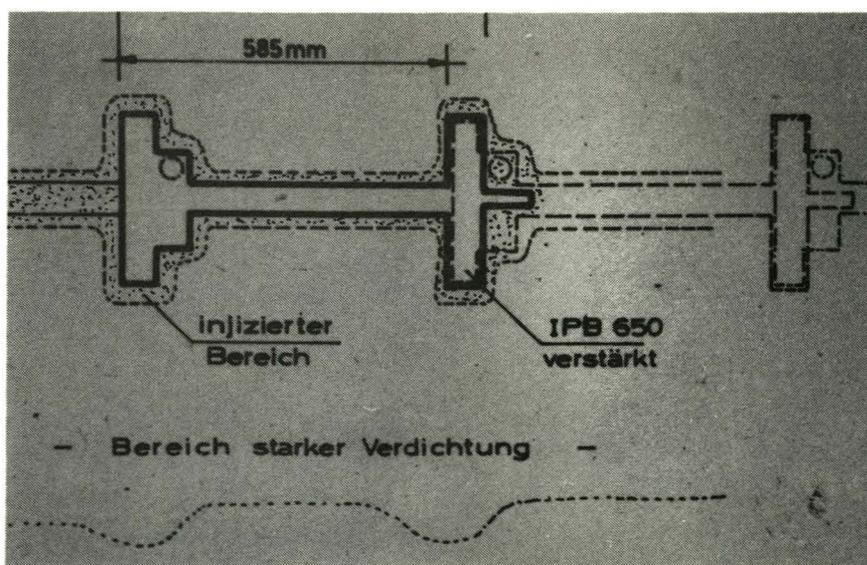


Abb. 16: Horizontalschnitt durch eine Schmalwand

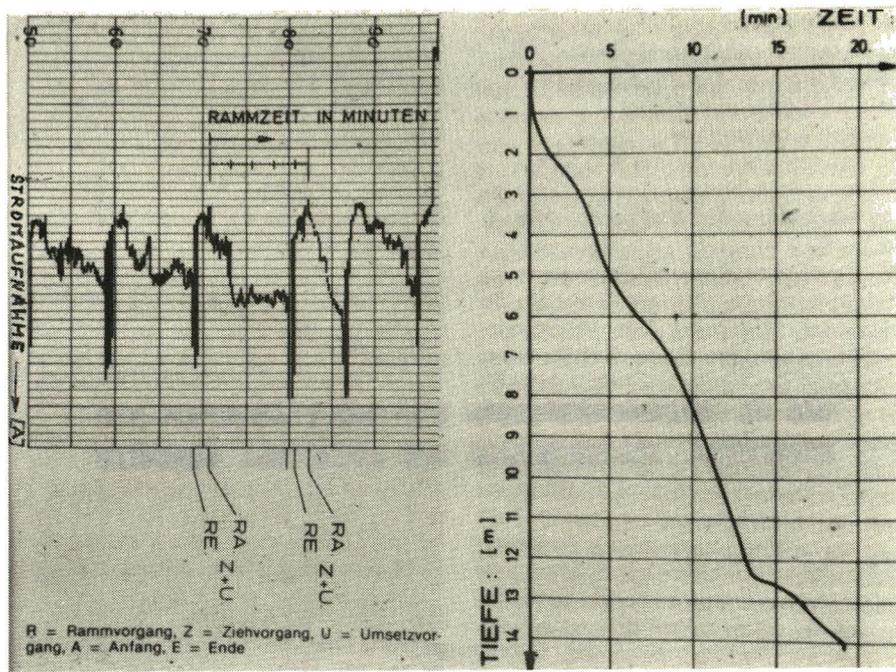


Abb. 17: Strom-Zeit-Diagramm

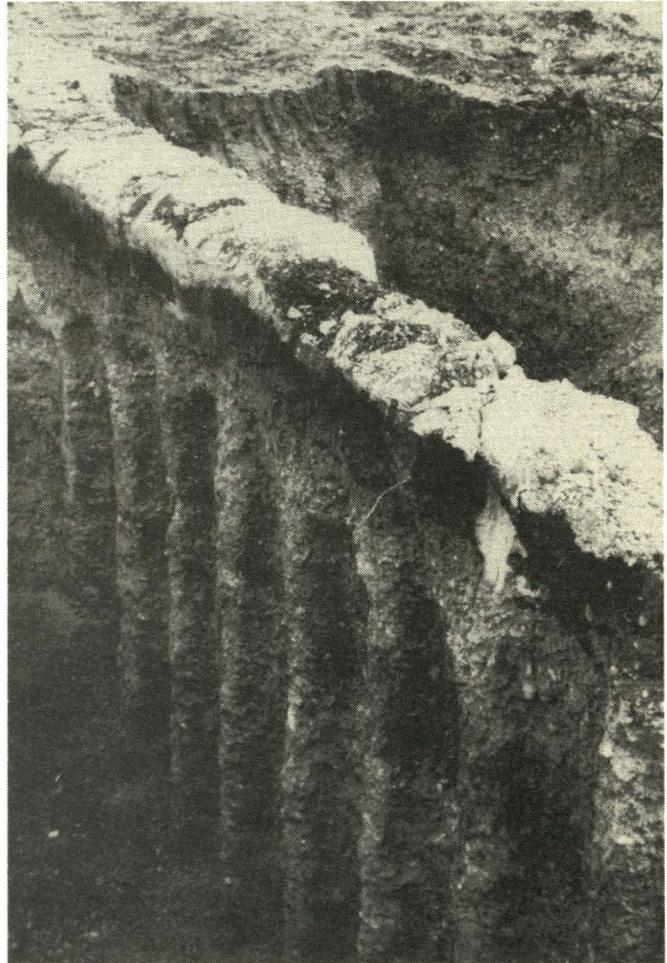


Abb. 18: Freigelegte Schmalwand