

# Pfahlgründungen in kontaminierten Böden

Dipl.-Ing. Werner Brieke,

FRANKI Grundbau GmbH

Vortrag anlässlich der Baugrundtagung 1992 in Dresden

Überreicht durch

---

**FRANKI Grundbau GmbH**  
Hittfelder Kirchweg 24–28  
21220 Seevetal

V 04

# Pfahlgründungen in kontaminierten Böden

Dipl.-Ing. Werner Brieke,

FRANKI Grundbau GmbH

## Zusammenfassung

Bei Pfahlgründungen, die durch kontaminierte Bodenschichten führen, ist darauf zu achten, daß sowohl während als auch nach der Pfahlherstellung kein Transport von Schadstoffen aus dem kontaminierten Bereich heraus in andere Bodenschichten bzw. ins Grundwasser stattfindet. Dieses kann entweder durch den Einbau spezieller Dichtungskörper im Bereich der kontaminierten Bodenschicht, durch die nachfolgend die Herstellung der Pfähle erfolgt, oder durch den Einsatz von Pfahlsystemen, bei denen auch während der Herstellung kein Ringraum um den Pfahlkörper herum entsteht, verhindert werden.

Die Ursachen für den Schadstofftransport und mögliche Schutzmaßnahmen werden erläutert.

## Summary

If pile foundations penetrate contaminated soil layers any transport of harmful material from the contaminated area into other soil layers or into the ground water respectively has to be avoided during and after pile construction.

This can be achieved either by means of special sealing compounds in the area of the contaminated soil layer, through which then construction of the piles takes place, or by means of pile systems which avoid the formation of any circumferential cavity around the piles.

The reasons for the transportation of contaminating material and possible protective measures are explained.

## **Einleitung**

Sorgloser Umgang mit chemischen Substanzen haben in der Vergangenheit dazu geführt, daß der Boden an zahlreichen gewerblich genutzten Standorten mit Schadstoffen belastet ist. Liegt unter den kontaminierten Deckschichten eine bindige, undurchlässige Sperrschicht, haben sich die Schadstoffe oberhalb dieser Schicht angesammelt. Der Boden und eventuell vorhandenes Grundwasser unterhalb der abdichtenden Schicht bleiben von den Schadstoffen unbeeinflusst, solange die Sperrschicht dicht ist.

Werden auf einem solchen Gelände vorhandene bauliche Anlagen erweitert oder neue Bauwerke errichtet, so sind für diese häufig Tiefgründungen erforderlich. Da in vielen Fällen der tragfähige Baugrund erst unterhalb der abdichtenden Sperrschicht ansteht, müssen die Pfähle die Sperrschicht durchdringen. Dabei ist nun insbesondere im Stadium der Pfahlherstellung darauf zu achten, daß keine Verbindung zwischen den kontaminierten und nicht kontaminierten Bodenschichten entsteht. Besonders kritisch ist diese Problematik, wenn die Pfähle bis ins Grundwasser hineinreichen. Im Übergangsbereich vom Bohr- oder Rammrohr bzw. vom Pfahlschaft zum Baugrund können sich je nach Pfahlsystem Ringräume bilden, durch die kontaminiertes Stauwasser in das tieferliegende Grundwasser gelangen kann.

Desweiteren ist bei der Pfahlherstellung eine mögliche Verschleppung kontaminierten Materials entlang des Schaftes und unterhalb des Fußes zu beachten.

## **Ausführung der Schutzmaßnahmen und konstruktive Hinweise für verschiedene Pfahlsysteme**

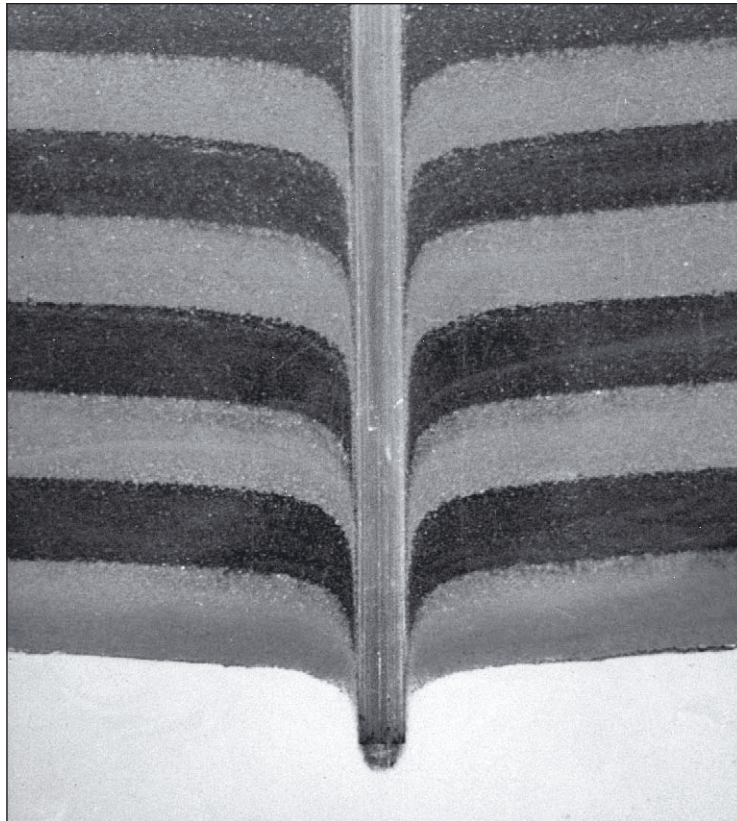
Für die Herstellung von Pfahlgründungen bei kontaminierten Baugrundverhältnissen sind sowohl Bohrpfähle als auch Verdrängungspfähle einsetzbar. Da jedoch bei allen Bohrpfahlsystemen die Herstellung des Bohrlochs durch Förderung bzw. Aushub von Bodenmaterial erfolgt, werden diese Systeme wegen der Problematik des zu entsorgenden kontaminierten Bodens in der Regel nicht eingesetzt werden können. Es liegt daher nahe, unter diesen Randbedingungen Verdrängungspfahlsysteme zu verwenden, da bei ihrer Herstellung keinerlei Bodenmaterial gefördert wird und somit auch die Probleme bei der Entsorgung von kontaminiertem Boden entfallen.

Die Verdrängungspfähle gliedern sich in Fertigrammpfähle, Ortbetonrammpfähle und Schraubpfähle. Während die beiden ersten Gruppen durch Kopf- bzw. Freifallinnenrohr-rammung in den Boden getrieben werden, geschieht bei den Schraubpfählen das Einbringen des Vortreibrohres durch Aufbringung hoher Drehmomente.

Die letztgenannte Methode besitzt hinsichtlich des Umweltschutzes auch den Vorteil, daß keinerlei Erschütterungen bei der Pfahlherstellung erzeugt werden.

## Verschleppung von kontaminiertem Material bei der Pfahlherstellung

Für den vertikalen Transport von Schadstoffen sind bei einer Pfahlherstellung die Ausbildung des Pfahl- bzw. Rohrfußes sowie die Oberflächenrauigkeit entlang des Pfahl- bzw. Rohrmantels von Bedeutung. Über diese Verschleppungsmechanismen wurde Mitte 1992 eine Forschungsarbeit [1] am Institut für Geotechnik der Bergakademie Freiberg fertiggestellt. Für die Überlassung des zugehörigen Bildmaterials sei Herrn Prof. Förster herzlich gedankt.

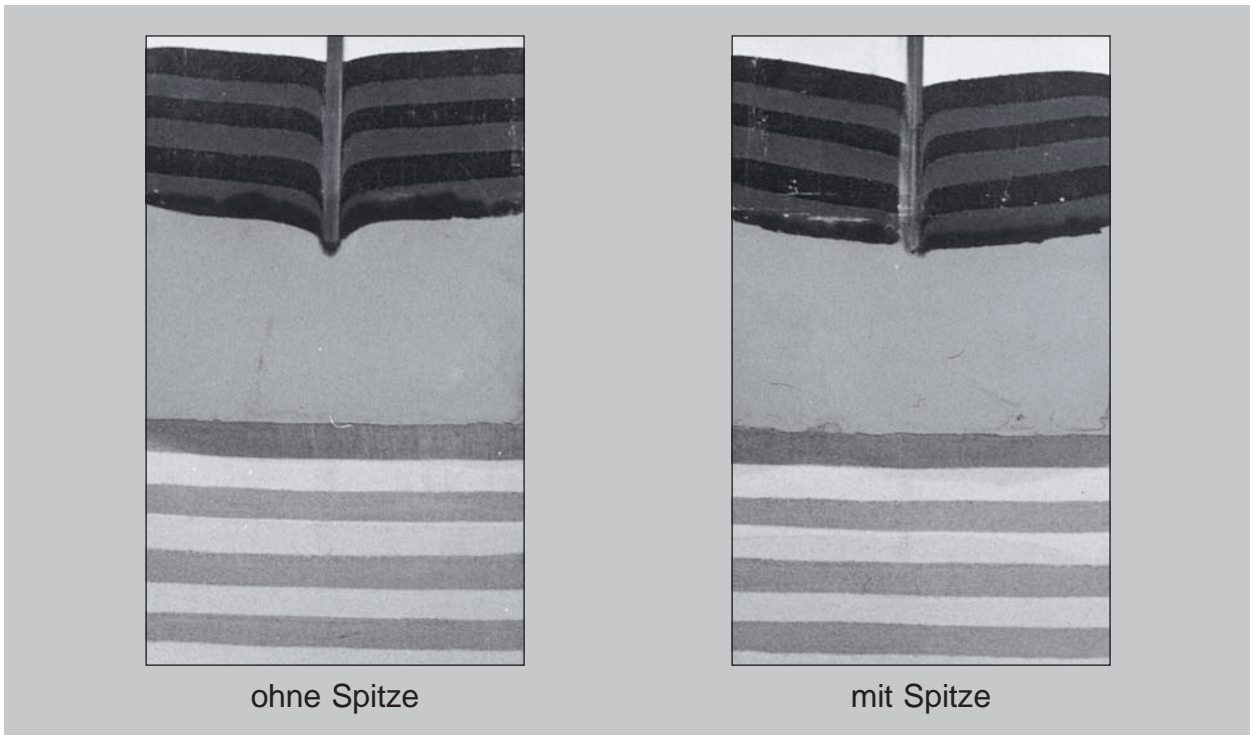


*Bild 1: Fußverschleppung bei stumpfer Pfahlspitze*

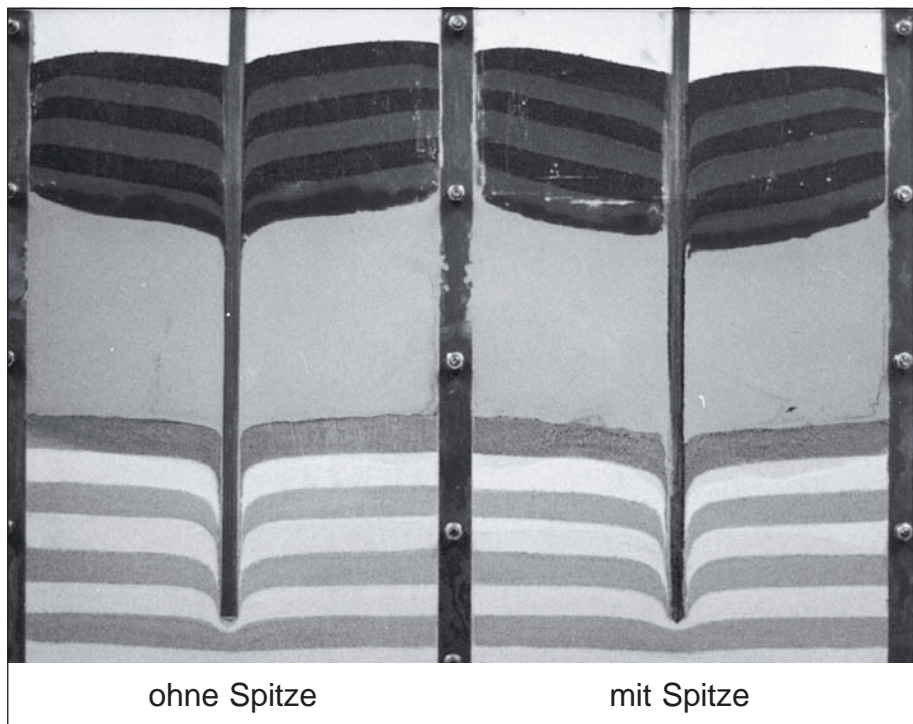
Bei Verwendung eines Fertigpfahles oder eines Vortreibrohres mit stumpfer Fußausbildung bildet sich beim Einrammen unterhalb des Fußes ein Bodenkeil aus, der durch die bindige Sperrschicht hindurch bis in die Tragschicht verschleppt wird (*Bild 1*). Da sich der Bodenkeil schon zu Beginn des Einrammvorganges, also in der kontaminierten Bodenschicht bildet, wird so belastetes Bodenmaterial bis in die Zone unterhalb der Sperrschicht transportiert. Je größer die Querschnittsfläche des Fußes ist, um so größer ist auch das Volumen des verschleppten Bodenkeils.

Abhilfe gegen diesen Verschleppungsmechanismus kann dadurch erreicht werden, daß Fertigpfähle oder Vortreibrohre mit einer Fußspitze ausgebildet werden. Den Vergleich des Bodentransportes und der Bodenverschiebungen bei einem Pfahl mit und ohne Spitze zeigen an Hand eines Modellversuches die *Bilder 2* und *3*.

Strömungstechnisch optimal wäre die Ausbildung der Spitze als Paraboloid, für die Bau-  
praxis ausreichend ist aber eine pyramiden- bzw. kegelförmige Spitze mit einem Öffnungs-  
winkel von ca. 60 Grad.



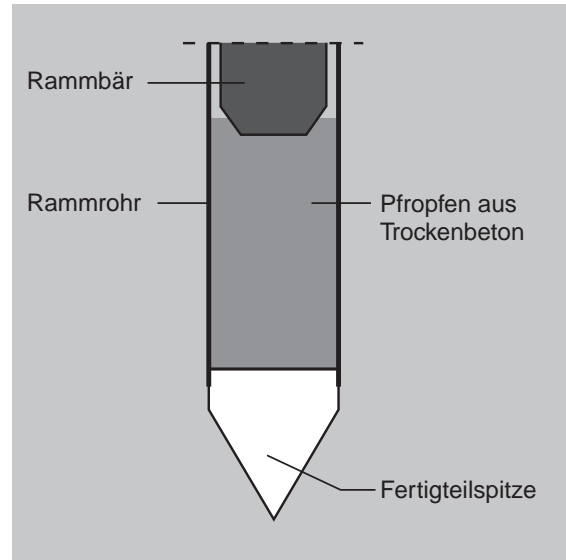
*Bild 2: Bodenverschiebungen beim Übergang in die Sperrschicht*



*Bild 3: Bodenverschiebungen nach Erreichen der Endtiefe*

*Bild 4* zeigt eine Fertigteilspitze, wie sie für einen Ortbetonrammpfahl nach dem System FRANKI verwendet wird. Wichtig ist, daß die Spitze keinen Überstand zum Rammrohr aufweist, so daß auch keine Ringraumbildung in der Umgebung des Rammrohres entsteht.

Die Verschleppung von kontaminiertem Material entlang des Pfahlschaftes bzw. des Vortreibrohrmantels hängt von dessen Oberflächenstruktur ab. Hier kann zum einen die Verschleppung in Porenöffnungen des Pfahlmaterials direkt erfolgen und zum anderen durch den Mitnahmeeffekt infolge übertragener Reibung an die Umgebung. Diese Mechanismen führen dazu, daß sich in der bindigen Sperrschicht ein Verschleppungstrichter aus kontaminiertem Material ausbildet.



*Bild 4: Rammrohr mit Vorlaufspitze*

*Bild 5* zeigt einen freigelegten Verschleppungstrichter, wie er sich bei einem quadratischen Betonrammpfahl in einer Sperrschicht aus Klei ausgebildet hat. Im Vergleich hierzu zeigt *Bild 6* den Verschleppungstrichter bei einem Modellversuch für ein eingerammtes Stahlrohr mit Fußplatte. Die bindige Sperrschicht besteht ebenfalls aus Klei.



*Bild 5: Freigelegter Verschleppungstrichter bei einem Betonrammpfahl*



*Bild 6: Verschleppungstrichter bei einem Rammrohr mit Fußplatte im Modellversuch*

Grundsätzlich kann festgestellt werden, daß der Verschleppungstrichter mit zunehmender Tiefe und wachsender Festigkeit der bindigen Sperrschicht ausklingt.

Qualitativ können als wichtigste Einflußfaktoren auf die Schaftverschleppung nach derzeitigem Kenntnisstand die Oberflächenbeschaffenheit des Fertigpfahles bzw. des Vortreibrohres, die Festigkeit der bindigen Sperrschicht und die Länge des Verschiebungsweges durch die Sperrschicht als Funktion der Pfahlänge genannt werden.

Es ist zu vermuten, daß auch die Größe der Querschwingungen, die bei Pfahlssystemen mit Kopframmung auftreten, die Ausbildung des Verschleppungstrichters beeinflussen. Hierfür gilt jedoch wie auch für die übrigen Einflußgrößen, daß weiterführende Untersuchungen erforderlich sind, um auch zu quantitativen Aussagen zu gelangen.

Aus den von Prof. Förster durchgeführten Untersuchungen im Klei ergaben sich für Betonfertigrampfpfähle und Ortbetonrampfpfähle mit Fußplatte Längen des Verschleppungstrichters von bis zu 2 m. Hieraus wird deutlich, daß die Sperrschicht in Abhängigkeit von den Bodenparametern und dem eingesetzten Pfahlssystem eine Mindestdicke (Grenzmächtigkeit) besitzen muß, um auch nach der Pfahlherstellung als Sperrschicht uneingeschränkt wirksam zu bleiben.

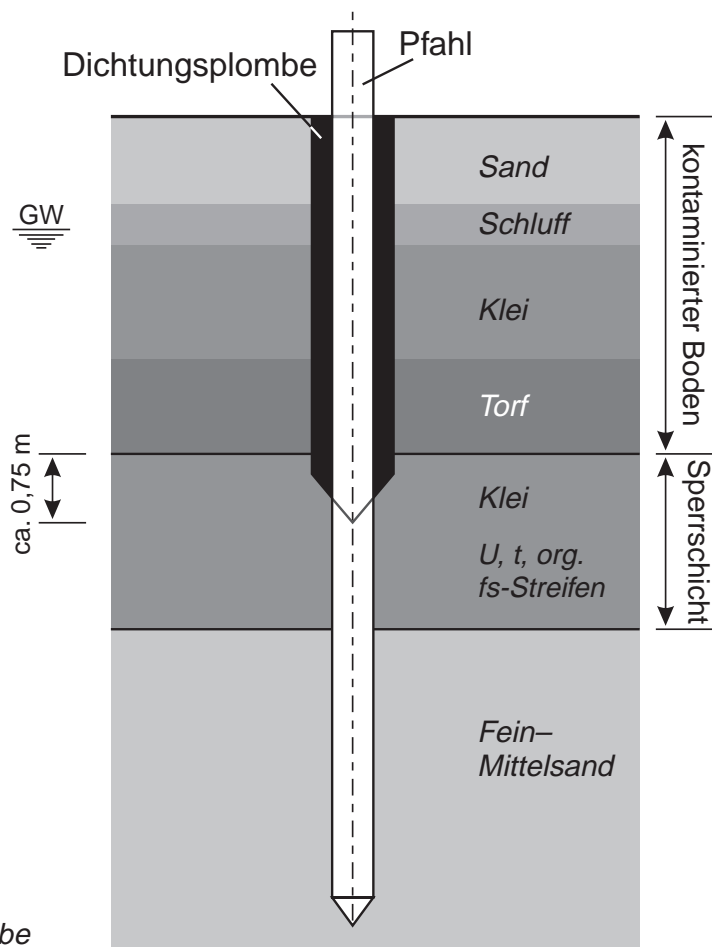


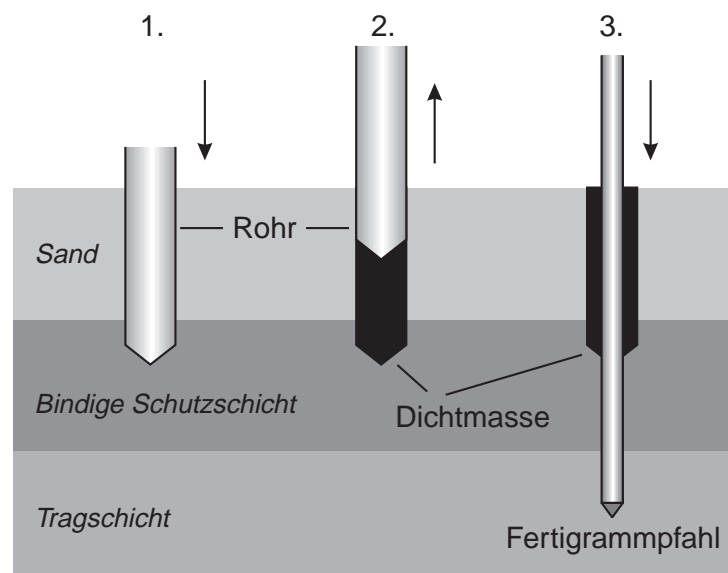
Bild 7: Baugrundsichtung und Pfahl mit zusätzlicher Dichtungsplombe

## Schutzmaßnahme bei möglicher Ringraumbildung

Um die Risiken einer Kontaminationsverschleppung bei der Pfahlherstellung auszuschließen, wurden in den letzten Jahren bereits eine Vielzahl von Pfahlgründungen mit einer zusätzlichen Dichtungsplombe im Bereich der kontaminierten Bodenschicht ausgeführt. Den prinzipiellen Aufbau eines Pfahls mit Dichtungsplombe zeigt *Bild 7*.

Die Herstellung der Tiefgründung läuft dabei in folgenden Schritten ab (*Bild 8*):

1. Zunächst wird ein Vortreibrohr durch die kontaminierte Schicht hindurch und ca. 0,5 m bis 1 m tief in die Sperrschicht hinein abgeteuft .
2. Anschließend wird der geschaffene Hohlraum mit einer Dichtmasse verfüllt, wie sie z.B. auch bei der Herstellung von Dichtwänden verwandt wird. Das Vortreibrohr wird wieder gezogen.
3. Die Pfahlherstellung erfolgt anschließend durch den Dichtungskörper.



*Bild 8: Schematischer Herstellungsablauf bei einem Pfahl mit Dichtungsplombe*

Damit ein solches Verbundsystem aus Dichtungskörper und Pfahl eine mögliche Kontaminationsverschleppung wirksam verhindert, sind bei der Herstellung folgende Kriterien zu beachten:

Der Durchmesser des Dichtungskörpers sollte etwa 0,2 m größer gewählt werden als der Pfahldurchmesser. Dabei ist dieses Vorhaltemaß natürlich an das verwendete Pfahlsystem und an die Mächtigkeit der kontaminierten Schicht anzupassen.

Das Vortreibrohr zur Herstellung des Dichtungskörpers muß auch mit einer Fußspitze ausgebildet sein, damit kein belastetes Bodenmaterial durch Fußverschleppung unterhalb der Dichtungsplombe abgelagert wird.



Das Ausmaß der Fußverschleppung, wenn ein stumpfes Vortreibrohr zur Herstellung des Dichtungskörpers eingesetzt wird, verdeutlicht *Bild 9*.

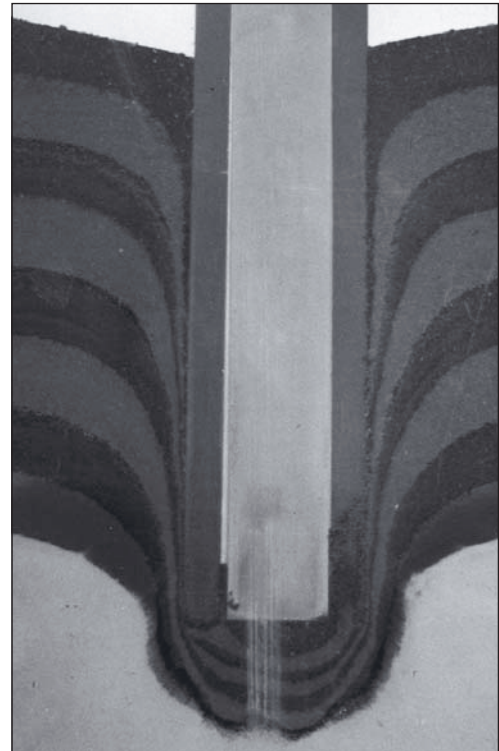
Wegen des größeren Durchmessers im Vergleich zum eigentlichen Pfahl vergrößert sich damit auch das Volumen des verschleppten kontaminierten Bodenmaterials in die obere Zone der Sperrschicht.

Die Ausbildung eines homogenen Dichtungskörpers bis in die Sperrschicht und die damit bezweckte vollständige Trennung zum kontaminierten Boden wird hierbei nicht erreicht.

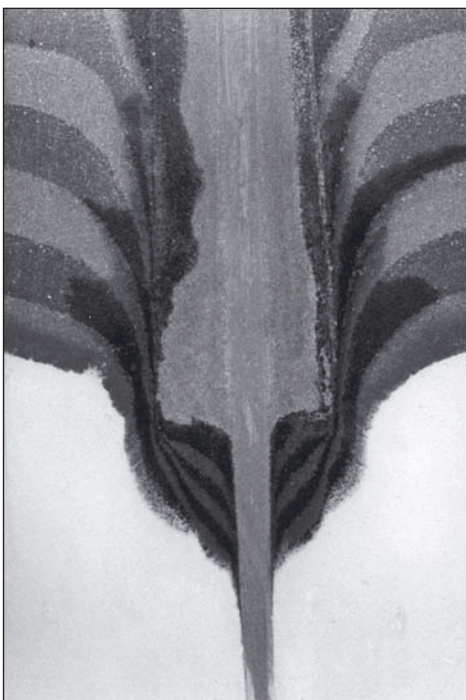
Bei der nachfolgenden Pfahlherstellung werden Teile des eingelagerten Bodens durch die bereits erläuterten Mechanismen der Fuß- und Mantelverschleppung in größere Tiefen verlagert.

Damit wächst das Risiko, daß kontaminiertes Material auch in Zonen unterhalb der Sperrschicht transportiert wird (*Bilder 10 und 11*).

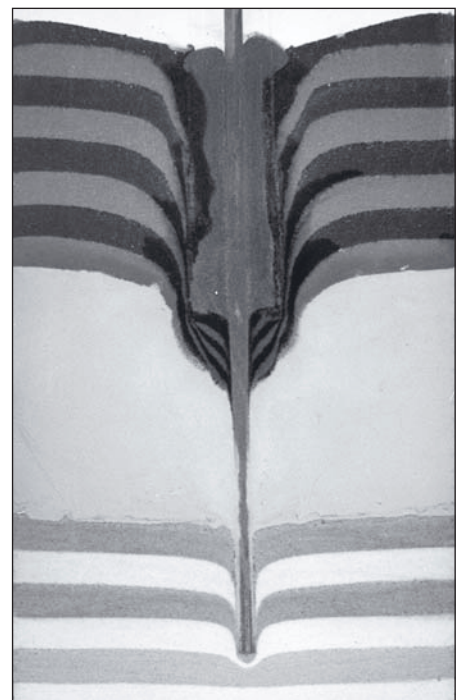
Den günstigen Einflug einer Fußspitze bei der Herstellung des Dichtungskörpers zeigt *Bild 12*. Die bei diesem Modellversuch verwandte Spitze hat einen



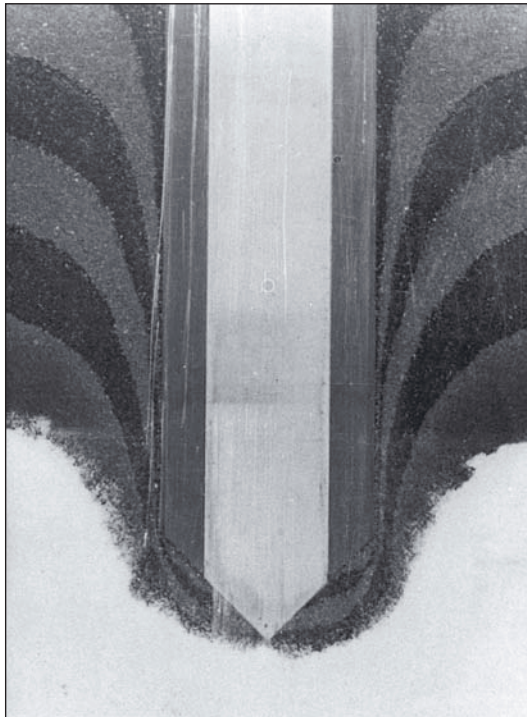
*Bild 9: Fußverschleppung bei Herstellung eines Dichtungskörpers mit einem Rammrohr ohne Spitze*



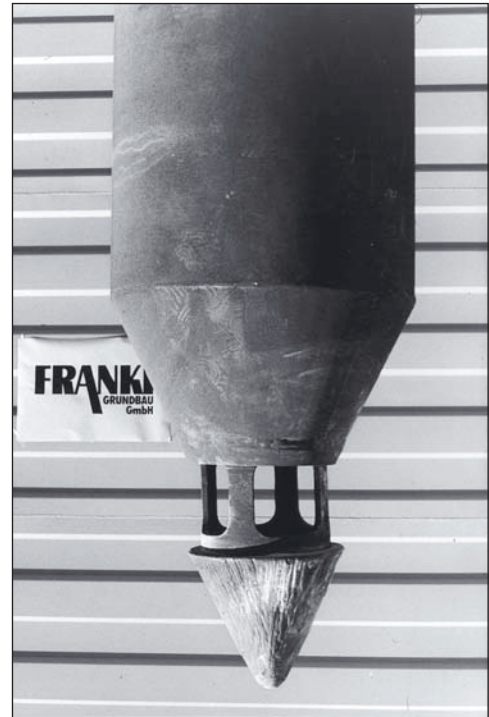
*Bild 10: Verschleppter Bodenkörper unter der Dichtungspombe*



*Bild 11: Gesamtsystem aus Dichtungspombe und eingerammtem Pfahl*



*Bild 12: Minderung der Fußverschleppung bei Verwendung einer Spitze mit 90° Öffnungswinkel*



*Bild 13: Vortreibrohr mit spezieller Spitzenausbildung zur Herstellung von Dichtungsploben*

Öffnungswinkel von ca. 90°. Im Vergleich zum stumpfen Ende reduziert sich das verschleppte Bodenvolumen unter dem Fuß erheblich, kann aber auch mit einer solchen Spitze nicht ganz verhindert werden.

Der günstigste Öffnungswinkel der Spitze liegt auch hier bei ca. 60°.

Die *Bilder 13* und *14* zeigen ein mit besonderer Spitze ausgebildetes Rammrohr zur Herstellung von Dichtungsploben. Die Fußspitze ist so konstruiert, daß sie die Abdichtung des Rohres beim Einrammen und den Austritt der Dichtmasse beim Ziehen des Rohres gewährleistet.

Als Materialien für den Dichtungskörper können die von der Dichtwandbauweise her bekannten Dichtwandmassen eingesetzt werden. Häufig wurden bisher Suspensionen aus Bentonit, Zement und Sand oder ausschließlich Bentonit-Zement-Suspensionen verwendet.

Als Beispiel für die Zusammensetzung einer Mischung sei hier genannt:

35 kg Na-Bentonit, 200 kg HOZ 35 und 920 kg Wasser für 1 cbm Dichtwandmasse.

Neben dem Ziel, einen Durchlässigkeitsbeiwert geringer als  $10^{-9}$  m/sec zu erreichen, muß die Dichtmasse zum Zeitpunkt der Pfahlherstellung noch ein rissefreies Verformungsverhalten aufweisen. Das ist gewährleistet, wenn die Pfahlherstellung spätestens 4 Tage nach Einbau des Dichtungskörpers erfolgt.

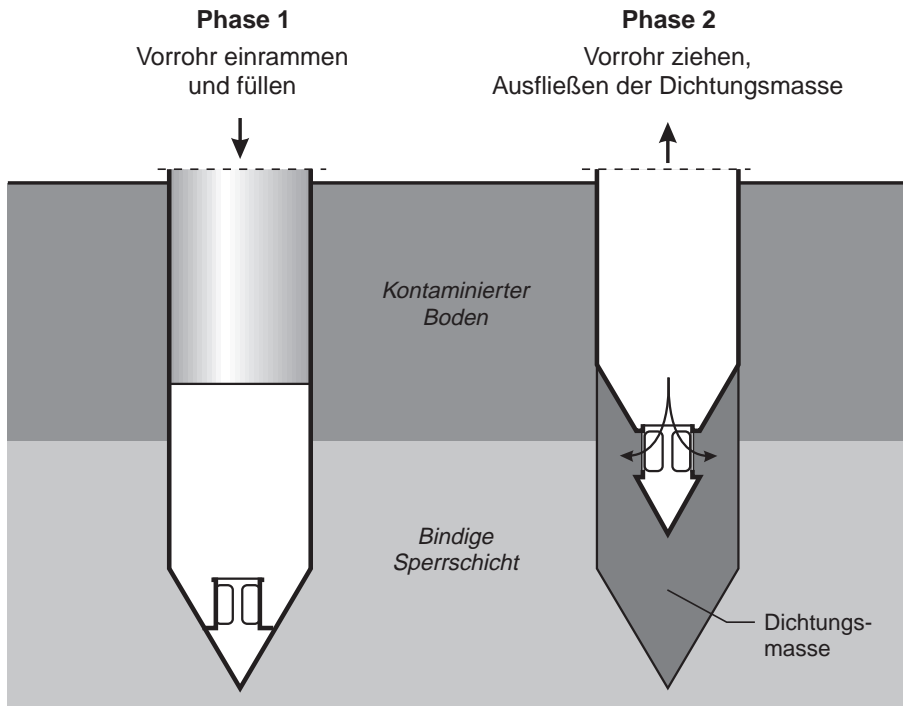


Bild 14: Arbeitsweise der Rammrohrspitze

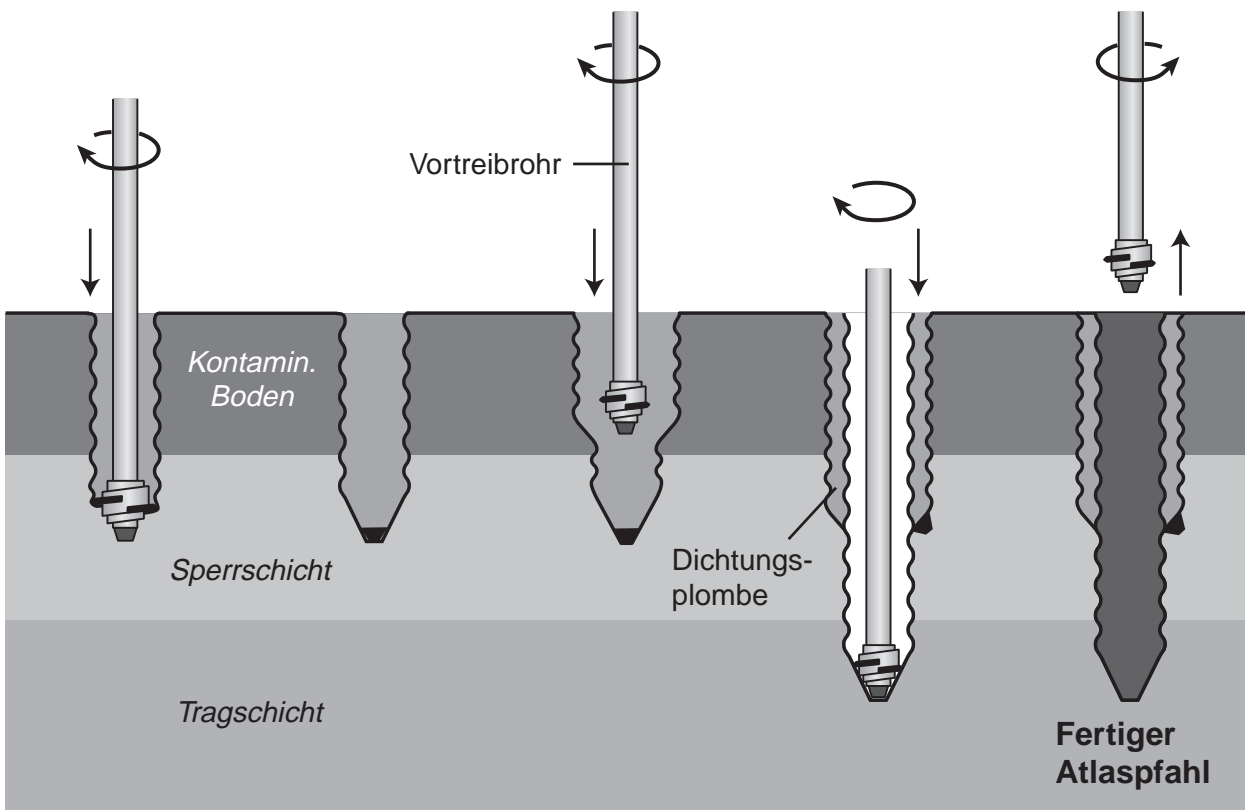


Bild 15: Herstellungsablauf eines Atlaspfahls mit Dichtungsplombe

Die Ausführung einer Pfahlgründung mit zusätzlicher Dichtungsplombe ist dann erforderlich, wenn Pfahlsysteme zum Einsatz kommen, die während des Eintreibvorganges offene Ringräume in ihrer Umgebung erzeugen. Das betrifft z.B. Ort betonrammpfähle mit überstehender Fußplatte und alle Schraubpfähle. Letztere besitzen am unteren Ende des Vortreibrohres einen überstehenden Schneidkopf, der je nach System entweder im Boden verbleibt und damit verloren ist oder mit dem Ziehen des Vortreibrohres wieder gewonnen wird.

*Bild 15* zeigt den Herstellungsablauf eines Schraubpfahles mit Dichtungsplombe am Beispiel des Atlaspfahls. Das Vortreibrohr wird mit Hilfe großer Drehmomente und gleichzeitigem vertikalen Anpreßdruck erschütterungsfrei in den Boden geschraubt. Zur Herstellung des Dichtungskörpers wird im Vergleich zum späteren Pfahlkörper ein vergrößerter Schneidkopf verwandt. Beim zweiten Arbeitsschritt, der eigentlichen Pfahlherstellung, schirmt der Dichtungskörper den auch in Abhängigkeit von der Baugrundsituation entstehenden Ringraum gegenüber dem kontaminierten Baugrund ab. Nach Fertigstellung des Pfahles wird der Ringraum vollständig durch den eingebrachten Beton verfüllt, so daß im Endzustand der Dichtungskörper nur noch die Schutzfunktion des Pfahlbetons gegenüber der kontaminierten Umgebung ausübt.

## Schlußfolgerungen

Bei der Herstellung von Pfahlgründungen in kontaminierten Böden, die von einer abdichtenden Sperrschicht unterlagert werden, sind die Auswirkungen möglicher Schadstoffverschleppungsmechanismen und Ringraumbildungen zu beachten.

Pfahlsysteme, die während des Herstellvorganges offene Ringräume erzeugen, in denen z.B. kontaminiertes Stauwasser in tiefere Schichten abfließen kann, müssen im Bereich der kontaminierten Zone mit einem zusätzlichen Dichtungskörper umschlossen werden.

Zur Vermeidung von Fußverschleppungen ist grundsätzlich eine Fußspitze zu verwenden, deren Öffnungswinkel ca. 60° betragen sollte.

Je nach Oberflächenbeschaffenheit, d.h. Porigkeit und Rauigkeit, der Pfahl- bzw. der Vortreibrohrmantelfläche kann belastetes Bodenmaterial entlang der Mantelfläche verschleppt werden.

Die Mantelverschleppung erzeugt in der Sperrschicht einen Verschleppungstrichter, der mit zunehmender Festigkeit der Sperrschicht ausklingt.

Ist die Mächtigkeit der Sperrschicht größer als die Länge des Verschleppungstrichters, bleibt die abdichtende Funktion der Sperrschicht erhalten.

Pfahlsysteme mit glatter Oberfläche und ohne Fußüberstand, die keinen Ringraum bei der Herstellung erzeugen, können ohne zusätzlichen Dichtungskörper hergestellt werden. Hierzu gehören beispielsweise Ort betonrammpfähle mit Innenrammung.

Bei einer Vielzahl bereits ausgeführter Pfahlgründungen in kontaminierten Böden mit eingelagerter Sperrschicht konnten die hier beschriebenen Verfahren erfolgreich eingesetzt werden.

Qualitative Aussagen über Verschleppungsmechanismen und Ringraumbildung sind nach heutigem Kenntnisstand möglich. Um jedoch die Abhängigkeiten und Auswirkungen der verschiedenen Einflußfaktoren genauer quantifizieren zu können, sind weitere umfangreiche Untersuchungen erforderlich.

## Literatur

- [1] Förster, W.; Tamaskovics, N.: Kontaminationsverschleppung durch Pfähle.  
Institut für Geotechnik, Bergakademie Freiberg
- [2] Förster, W.; Tamaskovics, N.: Untersuchung der Kontaminationsverschleppung bei Pfahlgründungen an einem Großmodellversuch.  
Vortrag XLIII. Berg- und Hüttenmännischer Tag in Freiberg, 1992.