

Beherrschung von Leistungsminderungen der Entwässerungsfilterbrunnen

erarbeitet von der Bergakademie Freiberg, Sektion Geotechnik und Bergbau,
Wissenschaftsbereich Tagebautechnik und bergbauliche Wasserwirtschaft
im Auftrag des VEB Rationalisierung Braunkohle

im Dezember 1976

Bearbeiter: Dipl.-Ing. K. FOLKENS

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1. Einleitung	5
2. Ursachen der Leistungsminderungen	7
3. Kontrollmaßnahmen	17
4. Optimaler Ausbau der Filterbrunnen	24
5. Entsandung	30
6. Optimaler Brunnenbetrieb	31
7. Schutzmaßnahmen gegen Verockerung	32
8. Brunnenregenerierung	39
9. Korrosionsschutz im Filterbrunnen	43
10. Literaturhinweise	47

1. Einleitung

In der Filterbrunnenentwässerung der Braunkohlentagebaue kommt es neben dem natürlichen Leistungsrückgang, der durch die ständig fortschreitende Absenkung des Grundwasserspiegels bedingt ist, teilweise zu Leistungsminderungen oder gar zum Ausfall von Brunnen infolge Filterverdichtung, wobei die Verdichtung die Filterrohre, den Filterkies und den brunnennahen Bereich des Grundwasserleiters betreffen kann. Weiterhin kommt es zu Querschnittsverengungen in den Rohrleitungen.

Die Beherrschung bzw. Einschränkung der Vorgänge, die zu diesen Leistungsminderungen führen, ist einmal ein Anliegen der Tagebausicherheit und betrifft die Absicherung des notwendigen Entwässerungsvorlaufes, sie ist zum anderen aber vor allem ein ökonomisches Problem, wenn man bedenkt, daß allein die Filterbrunnen des Industriezweiges Braunkohle ein Anlagevermögen von etwa 100 Millionen Mark aufweisen. Dabei geht es um die Überbemessung von Fassungsanlagen und Rohrleitungen, das Nachbohren von Brunnen und um den immer noch relativ niedrigen Anlagenwirkungsgrad, der in der Braunkohlenentwässerung 1975 mit 31,1 ausgewiesen wurde (wobei der Wirkungsgrad der UWM-Pumpenanlagen in jedem Fall noch darunter liegt) und der ja maßgeblich vom Zustand der Rohrleitungen abhängig ist.

Zur Erforschung dieser Problematik wurden 1972 an der Bergakademie Freiberg Untersuchungen aufgenommen, von denen wichtige Teilergebnisse bereits veröffentlicht sind [6], [9]. Für den Praktiker im Entwässerungsbetrieb sollen die vorliegenden Ergebnisse in dieser Ausarbeitung zusammenfassend dargestellt werden. Dabei sollen vor allem Anregungen für betriebliche Rationalisierungsmaßnahmen gegeben

werden, denn nicht für jeden konkreten Einzelfall und für alle in Betracht gezogenen Verfahren gibt es fertige Lösungen. Gerade bei der Anwendung von Forschungsergebnissen ist die konstruktive Mitarbeit der Betriebskollektive von ausschlaggebender Bedeutung.

Gleichzeitig dient diese Ausarbeitung als internes Lehrmaterial der Bergakademie Freiberg . .Sektion Geotechnik und Bergbau.

Bei der Beurteilung der vorliegenden Ergebnisse ist davon auszugehen, daß die einzelnen Wirkungsgrößen des Verdichtungs- oder Inkrustationsprozesses, der als Zusammenwirken von mechanischer, chemischer, biochemischer und elektrochemischer Kolmation interpretiert werden kann, noch nicht restlos erforscht worden sind. Das betrifft insbesondere die Mikrovorgänge und die Wechselbeziehungen der Bindungskräfte an den Phasengrenzflächen (Spülflüssigkeit - Bohrlochwandung, Filterrohroberfläche, Filterkornoberflächen beim bzw. unmittelbar nach dem Bohrprozeß; Grundwasser und Beimengungen - Oberflächen des Grundwasserleiters im brunnennahen Bereich, der Filterkieskörner, des Filterrohres). Der Einfluß dieser Materialeigenschaften und Strukturveränderungen auf den Prozeß der Leistungsminierungen wird z. Z. noch untersucht. Im Zusammenhang damit kann auch der zeitliche Ablauf der Verdichtungs- und Inkrustationsvorgänge noch nicht angegeben werden.

Unabhängig von den noch laufenden Untersuchungen sind die Hauptursachen für die Leistungsminierungen von Entwässerungsfilterbrunnen im wesentlichen bekannt und können durch entsprechende Maßnahmen bekämpft werden.

Der Fragenkomplex Rohrleitungsinkrustierungen/Verbesserung des Anlagenwirkungsgrades wird in dieser Ausarbeitung nicht mit behandelt; es wird auf [5] und [7] verwiesen.

2. Ursachen der Leistungsminderungen

Als "Brunnenalterung" wird bekanntlich die Verschlechterung der anfänglichen statischen und hydraulischen Eigenschaften des Brunnenfilters verstanden, die einerseits ein Nachlassen der Tragfähigkeit der Bauteile und andererseits eine Abnahme der Durchlässigkeit des Filters bewirkt. Die einzelnen Wirkungsgrößen der Leistungsminderungen können jedoch nicht nur der in Abhängigkeit von der Zeit vor sich gehenden Brunnenalterung zugeordnet werden, sondern sie treten auch kurzzeitig infolge von Baufehlern und falscher Betriebsweise des Brunnens auf.

Es lassen sich folgende Hauptkomponenten der Leistungsminderungen unterscheiden:

- Vorgänge der mechanischen Erdstoffverformung, vor allem bedingt durch die Schleppekraft des Grundwassers (vereinfacht als Versandung bezeichnet; gegebenenfalls begünstigt durch fehlerhaften Brunnenausbau), aber auch mechanische Kolmation durch Skin-Effekt, Anlagerungen disperser Bestandteile aus der Spülflüssigkeit bzw. dem Grundwasser infolge von Adhäsionskräften;
- Verockerungen, abhängig vom Chemismus des Grundwassers, von mikrobiologischen Vorgängen, physikalischen Ursachen und betriebsbedingten Faktoren;
- Korrosionsvorgänge.

Weiterhin spielen z. T. Versinterungen, Materialalterung und statische Einflüsse eine Rolle.

Auf die genannten Wirkungsgrößen soll im folgenden noch kurz eingegangen werden.

Die "Versandungserscheinungen" lassen sich in Suffosion, Erosion und Kolmation einteilen.

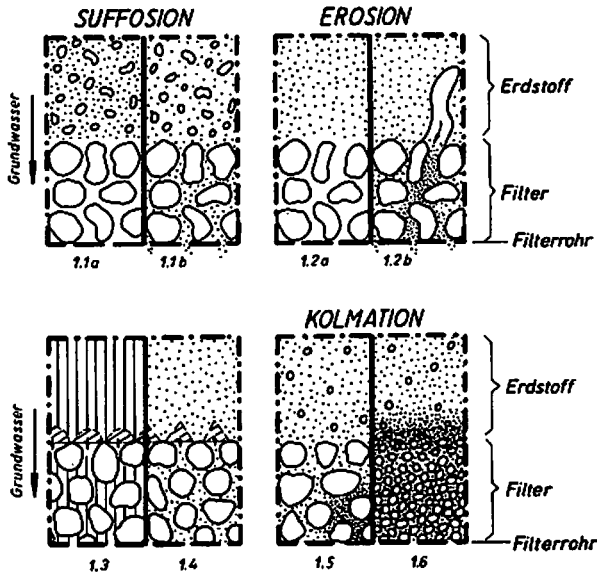


Bild 1: Versandungsmöglichkeiten von Filterbrunnen

- 1.1. Kontaktsuffosion
- 1.2. Kontakt-erosion
- 1.3. Hydraulischer Grundbruch
- 1.4. Oberflächenzerfall
- 1.5. Innere Kolmation
- 1.6. Äußere Kolmation (a - Zeit 1, b - Zeit 2)

Die Suffosion beginnt beim Brunnenfilter in der Regel an der Kontaktfläche Grundwasserleiter/Filter (Kontaktsuffosion; 1.1. im Bild 1). Durch diesen Vorgang werden, beginnend mit den Feinstkornanteilen, die den Filter umgebenden Erdstoffschichten des Grundwasserleiters entsandet. Bei nicht ausreichender Entsandung gelangen die Feinstkornanteile nicht in den Brunnen, sondern bleiben in den Porenzwickeln des Kiesfilters hängen; es kommt praktisch zu einer inneren Kolmation in den Porenzwickeln.

Zu einer inneren Kolmation im gesamten Kiesfilter kann es kommen, wenn

- die Strömungskraft im Filter zum Weitertransport der Suffosionsteilchen nicht ausreicht,
- die Schlitzweite des Filterrohres kleiner ist als der Durchmesser der transportierten Teilchen,
- der Korndurchlaß im Kiesfilter zu klein ist, um die Teilchen durchzulassen.

Während bei der Kolmation von Feinstkornanteilen in den Porenwickeln die Leistung des Filters kaum zurückgeht, kommt es bei einer Kolmation im gesamten Kiesfilterbereich immer mehr zur Verringerung der Hohlraumgröße und damit zum Leistungsrückgang des Filters. In jedem Fall kommt es aber zu einer merklichen Erhöhung der Kornoberfläche im Kiesfilter, wodurch Verockerungen begünstigt werden (Verockerungsform a im Bild 2).

Bei einer sehr feinen Filterschüttung, die man bei sehr feinkörnigem Bodenmaterial vorsieht, kommt es oft zur äußeren Kolmation (1.6. im Bild 1), indem sich die Fraktionen in relativ kurzer Zeit im Bereich der Kontaktfläche Grundwasserleiter/Filter festsetzen. Die Verockerung beginnt in diesem Fall an der Kontaktfläche und setzt sich oft weit in den Grundwasserleiter hinein fort (Verockerungsform b im Bild 2).

Beim Skin-Effekt kommt es auch an dieser Kontaktfläche zur äußeren Kolmation, wobei die Feststoffteilchen der Spülflüssigkeit von der entgegengesetzten Richtung in die Bohrlochwandung eindringen.

Eine Kontakterosion (1.2. im Bild 1) an der Kontaktfläche Grundwasserleiter/Filter kann - durch erhöhtes Grundwassergefälle bedingt und besonders bei bindigen Erdstoffen - von einem hydraulischen Kontaktbruch (Aufbruch eines Erdkörpers, 1.3. im Bild 1) oder von Oberflächenzerfall (Ablösung ganzer Erdstoffbereiche, 1.4. im Bild 1) ausgehen, wenn es nicht schon in der Vermischungszone der beiden Erdstoffe zur Kolmation in Form der Ausbildung eines

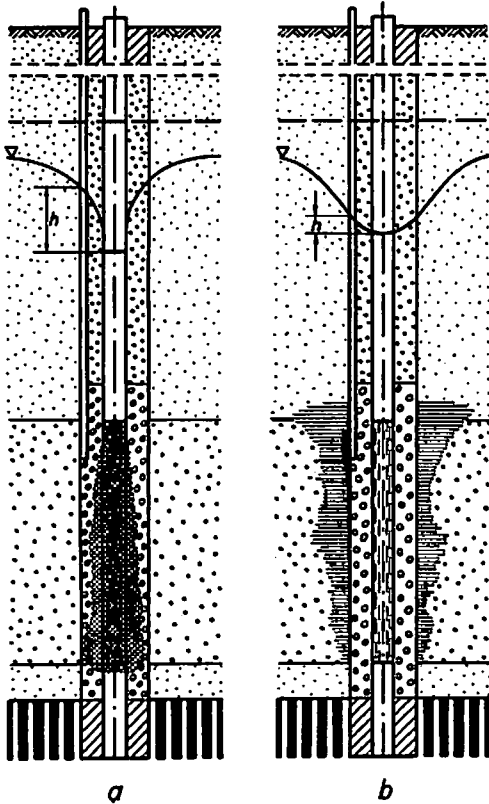


Bild 2:
Verockerungs-
formen

natürlichen umgekehrten Filters kommt.

Durch Erosionserscheinungen kann es dann zu Durch- und Einbrüchen im Grundwasserleiter kommen. Das Filterrohr versandet durch den ständigen Sandeintrieb ziemlich rasch, die Folge sind Leistungsabfall des Brunnens, Schäden an der UWM-Pumpe und Setzungen, die gegebenenfalls zum Einsturz des Brunnens führen.

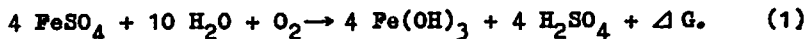
Unter Verockerung versteht man den Vorgang der Ausfällung und Ablagerung von unlöslichen Eisen- und Manganverbindun-

gen aus dem Grundwasser, wobei der Manganabscheidung im allgemeinen weniger Bedeutung zukommt. Der Prozeß der Verockerung resultiert aus einer Reihe von Ursachen, Vorgängen und Faktoren, die oft nicht voneinander zu trennen sind. Brunnenverockerungen sind insbesondere komplizierte mikrobiologisch-chemische Wechselwirkungsprozesse, wobei der biochemischen Katalysation der Verockerung große Bedeutung zukommt. Notwendige Bedingungen für die Entstehung der Brunnenverockerung sind einerseits

- die Anwesenheit von zweiwertigen Eisen- bzw. Manganionen (die Verockerungsgefahr ist bereits bei einem Fe^{2+} -Gehalt des Wassers von $> 1 \text{ mg/l}$ zu beachten, und bei > 3 bis 5 mg/l ist sie groß),
 - die Überschreitung eines bestimmten Grenzwertes des Redoxpotentials ($- 10 \pm 20 \text{ mV}$ gegen die Normalwasserstoffelektrode),
 - ein optimaler pH-Wert (> 3 bis 4)
- und andererseits
- die Anwesenheit von Eisen bzw. Mangan speichernden Mikroorganismen sowie
 - das Vorhandensein eines ausreichenden Nachschubs für die Tätigkeit der Mikroorganismen (Erhöhung der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers gegenüber den natürlichen Verhältnissen im Untergrund).

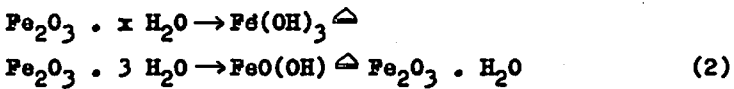
Neben den klassischen Eisen- und Manganbakterien, die in der Lage sind, das im Wasser gelöste zweiwertige Eisen oder zweiwertiges Mangan aufzunehmen und in Form von unlöslichen Eisen- bzw. Manganverbindungen wieder auszuscheiden (z. B. *Gallionella ferruginea*, *Leptothrix trichogenes*, *Siderocapsa*), sind weitere Wasserbakterien (Kokken, Stäbchen u. a.) ebenfalls von Bedeutung für den Verockerungsvorgang.

Die stattfindende Oxydation kann vereinfacht durch folgende Gleichung beschrieben werden:

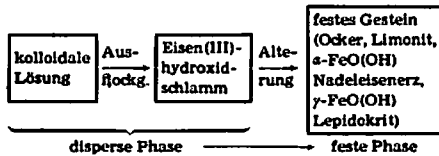


Die freiwerdende Energie ΔG (in kcal/Mol Fe) gewährleistet ein entsprechendes Lebensmilieu für die Mikroorganismen. Dabei ist weiterhin von Bedeutung, daß der für den Verockerungsvorgang benötigte Sauerstoff ganz oder teilweise aus biochemischen Reduktionsvorgängen stammen kann.

Die Eisenabscheidung geht zunächst mit einer Hydrolyse des gebildeten dreiwertigen Eisens einher, so daß anstatt $\text{Fe}(\text{OH})_3$ zunächst $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x \text{H}_2\text{O}$ richtiger ist. Es entsteht ein Eisen(III)-Oxidhydrat unbestimmten Wassergehaltes, das kolloidal gebildet wird und erst allmählich durch Wasserentzug nachstehendem Prozeß unterliegt:



Das entspricht etwa folgendem Vorgang:



Der Oxydationsprozeß ist abhängig vom pH-Wert [4], d. h., die Reaktionsgeschwindigkeit nimmt mit größer werdendem pH-Wert zu. Die Ausfällung des Eisenhydroxids erfolgt ohne Sauerstoffzufuhr erst im schwach basischen Bereich (Mangan- ausfällung bereits im schwach sauren Bereich). Weiterhin spielen physikalische Ursachen und betriebsbedingte Faktoren eine Rolle, auf die hier nur hingewiesen werden kann (siehe Abschnitte 4 und 6).

Unter Korrosion versteht man die Angriffe des Wassers, des Bodens, aber auch infolge von Fremdströmen (Irrströme, Streuströme, vagabundierende Ströme) durch Elektrolyse sowie durch galvanische Elementbildung auf die Werkstoffe.

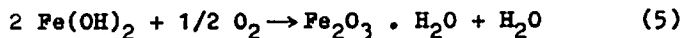
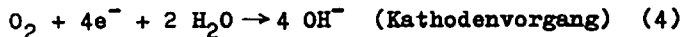
Korrosionsvorgänge können heute durch die Wahl geeigneter Werkstoffe oder durch entsprechende Korrosionsschutzmaßnahmen ausgeschaltet werden. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, daß im praktischen Entwässerungsbetrieb selbst der passive Korrosionsschutz (Pumpen, Rohrleitungen, z. T. ungeschützte Stahlfilterrohre) noch nicht verwirklicht ist. Die Korrosionsvorgänge durch das Grundwasser in ihrer Wirkung auf Metall- (Eisen-) bzw. Betonteile des Filterbrunnens sollen im folgenden kurz zusammengefaßt werden [3]:

a) Korrosion des Eisens

Jede Metallkorrosion erfolgt durch das Bestreben des Metalls, durch Abgabe von Elektronen in einen energieärmeren Ionenzustand überzugehen. Bei elektrochemischen Korrosionsprozessen (Ausbildung von anodischen und kathodischen Bereichen an der Metalloberfläche), die infolge der Acidität des Wassers auftreten (Säure- oder Wasserstoffkorrosion, $\text{pH} < 4$) oder bei der Sauerstoffkorrosion ($\text{pH} 4 \dots 9,6$; Gegenwart von O_2) liefert die Auflösung des Eisens die Elektronen:

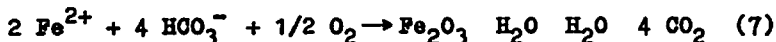
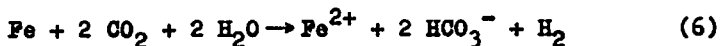


Dabei führt die Wasserstoffkorrosion (Aufnahme der Elektronen durch den Wasserstoff) zu einem flächenhaften Abtrag des Metalls, während bei der stärker wirkenden Sauerstoffkorrosion die Elektronen vom Sauerstoff aufgenommen werden und sich sekundär Eisen(III)-oxidhydrat bildet:



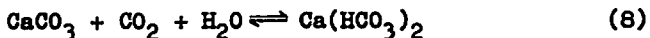
Enthält das Wasser freie Kohlensäure, wird das Eisen unter Bildung von Hydrogencarbonat gelöst und bei

gleichzeitiger Anwesenheit von Sauerstoff ebenfalls in Eisen(III)oxidhydrat umgewandelt:



b) Korrosion des Betons

Wenn Wasser durch Beton sickert, werden die Alkalien und das Calciumhydroxid herausgelöst. Bei Vorhandensein saurer Wasser (pH < 6) und insbesondere bei freier überschüssiger Kohlensäure sind Auslaugungserscheinungen besonders zu beachten. Weiterhin treten Treiberscheinungen durch Sulfate auf. Bild 3 zeigt den Grad des Eisen- und Kalklösungsvermögens der freien Kohlensäure in Abhängigkeit von der Karbonathärte des Grundwassers. Die stark ausgezogene Kurve (Kalklösung = 0) charakterisiert das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht:



Über dieser Kurve liegt der Bereich der freien überschüssigen Kohlensäure (keine Schutzschichtbildung, vielmehr Schutzschichtauflösung; bei Angriff auf Kalk entsteht gemäß Gleichung (8) $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, das zu seiner Stabilisierung eine weitere Menge an freier zugehöriger CO_2 benötigt - nicht die gesamte freie überschüssige Kohlensäure ist demnach kalkaggressiv!).

Die Grundwässer in der Lausitz weisen meist eine relativ geringe Karbonathärte auf (um 3 und weniger), die freie CO_2 beträgt jedoch häufig um 30 mg/l und mehr, so daß der Angriff der Grundwässer sowohl auf Eisen wie auch auf Beton im allgemeinen sehr stark ist. Der SO_4 -Gehalt beträgt außerdem häufig über 300 mg/l und ist damit betonschädlich.

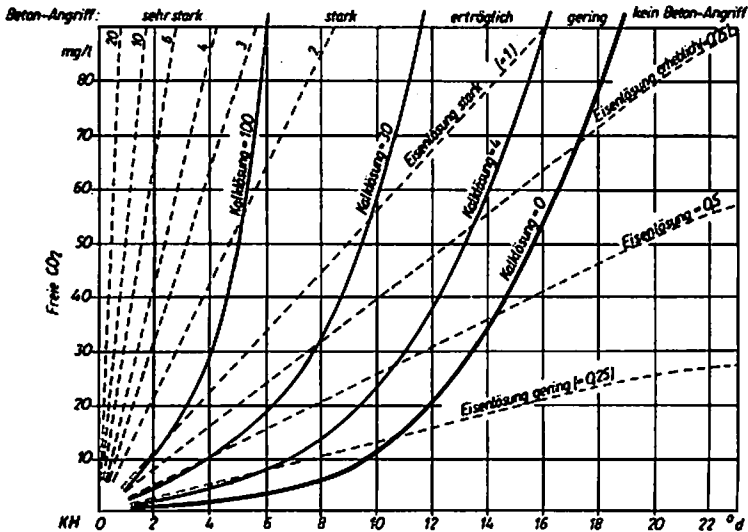


Bild 3: Grad des Eisen- und Kalklösungsvermögens durch freie Kohlensäure nach MÜNDLEIN

Versinterungen, d. h. Auscheidungen von unlöslichen Kalzium- oder Magnesiumkarbonaten, spielen in der Braunkohlenentwässerung kaum eine Rolle.

Unter Materialalterung sind Vorgänge wie Versprödung, Risbildung und innere Strukturumwandlung zu verstehen, die in der Entwässerungstechnik nur dann zu beachten sind, wenn man Risbildungen und Brüche, die bei Keramik-, Beton- und Kieslebefilterrohren auf unsachgemäßen Einbau der Rohre (z. B. Verkanten), der Kiesschüttung (z. B. zu hohes Vorschütten, Kiesverklemmungen an den Muffen) oder der UWM-Pumpe (Anschlagen an die Filterwandung) zurückgeführt werden müssen, im weiteren Sinne zur Materialalterung zählt.

Nach vorangegangener Versandung (Erosion), Korrosion oder Materialalterung oder unter dem Einfluß zweier oder aller dieser Faktoren können die statischen Einwirkungen auf einen Brunnen entscheidend an Bedeutung zunehmen, so daß es zur Einbeulung der Filterrohre (bei Stahlfilterrohren) oder zum Bruch, zum Einsturz des Brunnens kommt. Die statische Einwirkung tritt somit als "Endglied einer Kette von Ursachen" auf [11]. Bei Tiefbrunnen ist es außerdem denkbar, daß nach einer schnellen Verockerung oder Kolmation der maximal auftretende Wasserdruck (maximale Absenkung bei hohem Grundwasserstand) unter Umständen ausreicht, um entscheidend am Einsturz eines Brunnens mitzuwirken.

Die dargestellten bzw. angedeuteten Teilvorgänge bzw. Einflußfaktoren der Leistungsminderungen der Filterbrunnen können nur durch eine komplexe Betrachtungsweise richtig erfaßt werden. Zum Beispiel verursachen die von eisernen Bestandteilen infolge der Korrosion in Lösung gehenden Eisen(II)-ionen Ockerablagerungen und wirken katalytisch auf den weiteren Verockerungsprozeß.

Korrodiertes Material (Rost) mit seiner rauhen Oberfläche und seinen reaktionsfähigen Molekülgruppen ist andererseits geradezu prädestiniert für Ockerablagerungen.

Da das kolloidale Eisenoxidhydrat das Bestreben hat, feste Bestandteile adsorptiv zu binden, ist die Ausflockung, Ablagerung und Alterung eines Ockergemisches (Eisenoxidhydrat, mineralische und organische Beimengungen) stark von den Vorgängen der mechanischen Erdstoffverformung im Brunnenbereich abhängig. Auch die Vergrößerung der Oberflächen, die bei einer mechanischen Kolmation zu verzeichnen ist, fördert den Verockerungsprozeß. Die äußere Kolmation an der Kontaktfläche Grundwasserleiter/Kiesfilter ist oft eine Summation der Kolmation infolge des Skin-Effektes und in-

folge von Suffosions- bzw. Erosionsvorgängen in Brunnennähe sowie von Verockerungsvorgängen. Die hier nur angedeutete komplexe Wirkung der einzelnen Vorgänge verlangt multiple und aufeinander abgestimmte Gegenmaßnahmen. Je nach den örtlichen Gegebenheiten, d. h. insbesondere nach der Gefährdung des Brunnens, ist über eine Anwendung der einzelnen Maßnahmen zu entscheiden.

3. Kontrollmaßnahmen

Zur Feststellung der Gefährdung des Brunnens bzw. von Leistungsminderungen sind insbesondere folgende Untersuchungen, Messungen und Beobachtungen geeignet:

Untersuchungen und Messungen vor Ausbau des Brunnens

- Siebanalysen der Grundwasserleiter und der vorgesehenen Kiesschüttungen,
- chemische Analysen des Grundwassers (Fe^{2+} , Fe^{3+} , pH, SO_4 , freie CO_2 , KH),
- Ausloten des Brunnens;

Untersuchungen und Messungen nach Ausbau bzw. Klarpumpen des Brunnens

- optische Brunnensondierung,
- geophysikalische Bohrlochmessungen,
- chemische und mikrobiologische Analysen,
- Sandgehaltsbestimmungen,
- Durchführung von Pegelmessungen und Feststellung, ob der Eintrittswiderstand des Grundwassers infolge Skin-Effektes überhöht ist;

Untersuchungen, Messungen und Beobachtungen während des Betriebes

- Durchführung regelmäßiger Wasserstands- und Wassermengenmessungen,
- Erfassung der Ausfallzeiten des Brunnens,

- Sandgehaltsbestimmungen, Ausloten des Brunnens,
- chemische Analysen,
- Feststellung des Eintrittswiderstandes,
- optische Brunnensondierung, geophysikalische Messungen.

Verfahren der optischen Brunnensondierung sind die Unterwasserphotographie, die Spiegelung mit dem Bohrlochperiskop und die Fernsehsondierung.

Die Vorteile der Fernsehsondierung liegen auf der Hand: unmittelbare eingehende Anschauung, kurze Zeitdauer für die vollständige Sondierung, keine Ungewißheit über Qualität der Aufnahme, kein Zeitverlust durch Filmentwicklung. Für den Bereich der VVB Braunkohle mit jährlich etwa 2000 neu abgeteufte Entwässerungsfilterbrunnen ist der Import von zwei bis drei Spezialfernsehvorrichtungen ange-regt worden [4]. Neben Verockerungen können damit vor allem die bereits genannten Vorgänge der Rißbildung und des Zubruchgehens durch unsachgemäßen Einbau der Rohre, eine nicht dichtende Aufsatzrohrverbindung usw. festge-stellt werden, was besonders wichtig ist, wenn die Störun-gen an einem neuen Brunnen oder schon während der Bauzeit auftreten.

Zur Zeit stehen auch noch keine Brunnenkameras zur Verfü-gung, so daß einer Sondierung mittels geophysikalischer Meßverfahren, die zur rationellen Auswertung von Erkun-dungsbohrungen in der Braunkohle schon seit Jahren ausge-führt werden, umso mehr Bedeutung zukommt.

Als Ergebnis von Testmessungen an gerade ausgebauten sowie an gammabestrahlten Filterbrunnen (siehe Abschnitt 7) im Tagebau Klettwitz wurde ein Standardmeßprogramm für Ent-wässerungsfilterbrunnen ausgearbeitet, das Temperatur-, Kaliber-, elektrische Spülungswiderstands-, Strömungs-(Flowmeter-), Gamma- und Gamma-Gamma-Messungen beinhaltet. Auf die einzelnen Meßverfahren wurde in [9] eingegangen.

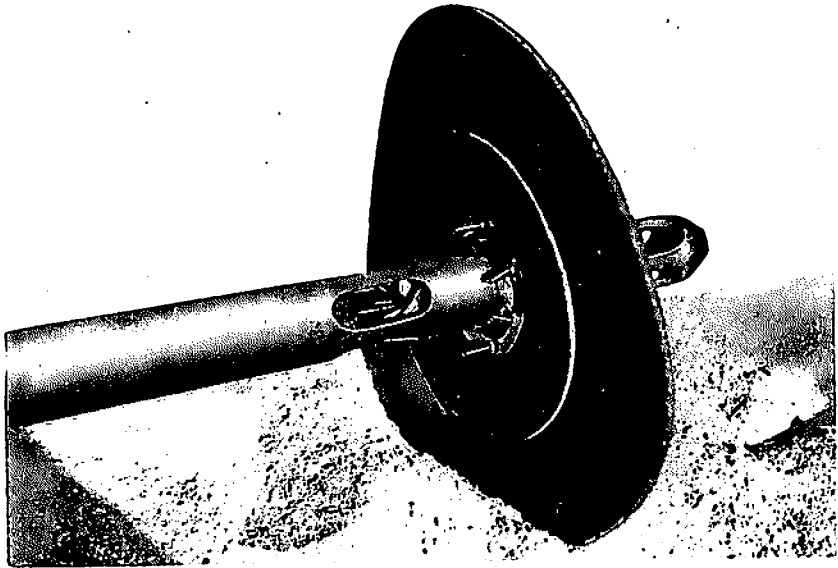


Bild 4: Flügelradflowmeter

Bild 4 zeigt ein vom VEB Geophysik eingesetztes Flügelradflowmeter, Bild 5 die Meßkurven einer Kalibermessung und je einer Flowmetermessung vor und nach einer durchgeführten Brunnenregenerierung (VEB Geophysik).

Der ökonomische Aufwand beim Einsatz geophysikalischer Bohrlochmessungen ist jedoch z. Z. noch ziemlich hoch, so daß eine umfassende Anwendung noch nicht in Betracht kommt. Für Stichprobenkontrollen an fertiggestellten Filterbrunnen und für Einzeluntersuchungen leistungsgeminderter Randriegelbrunnen, bei denen eine Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit noch möglich ist, sowie zur Kontrolle der Wirksamkeit von Schutz- und Regenerierungsmaßnahmen wird jedoch die Anwendung befürwortet.

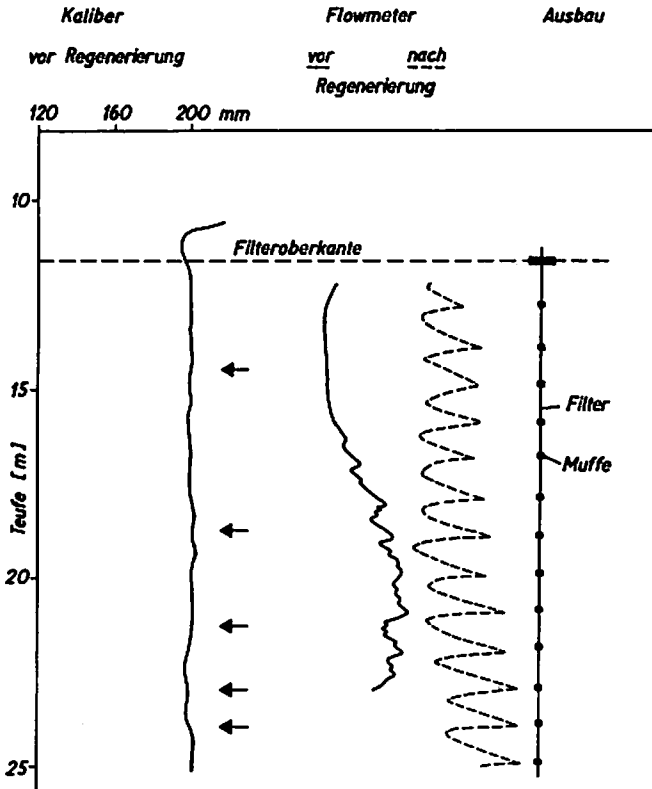


Bild 5: Ausbaukontrolle durch Kaliber- und Flowmetermessung bei Brunnenregenerierungsmaßnahmen

Sollen mikrobiologische Untersuchungen durchgeführt werden, so sind Objektträger z. B. an einer Dederonschnur (eisenfrei) - Bild 6 - etwa eine Woche in den zu untersuchenden Brunnen zu hängen (siehe auch Abschnitt 7).

Für Sandgehaltsbestimmungen kann die in Bild 7 dargestellte Vorrichtung verwendet werden. (Der Sandgehalt des Brunnenwassers sollte 20 ... 50 mg/l nicht überschreiten.)

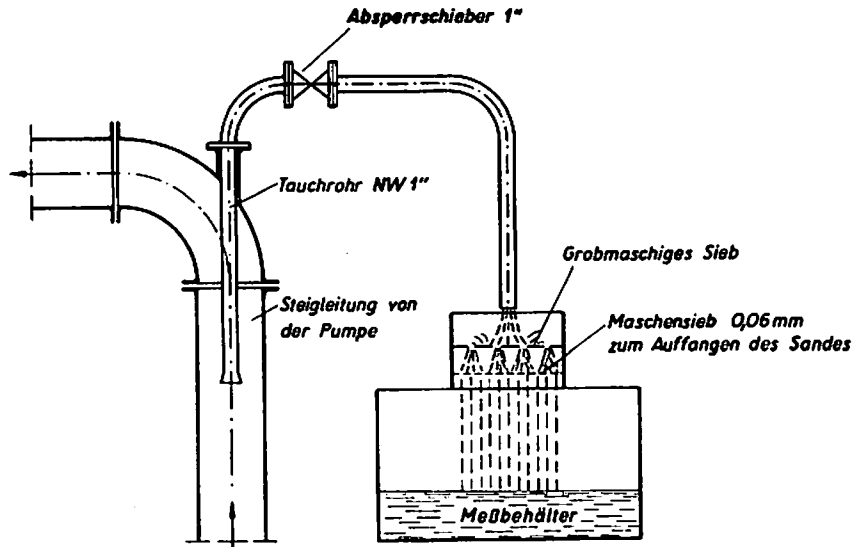


Bild 7: Einrichtung zum Auffangen des beim Abpumpen eines Filterbrunnens von einem Teilstrom mitgeführten Sandes

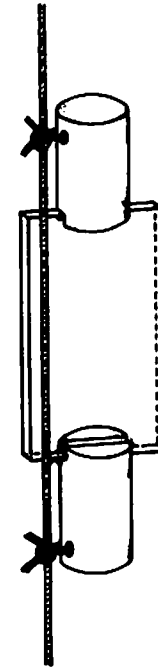


Bild 6: Objektträger mit PVC-Halterungen

Eine nur visuelle Kontrolle des Wassers auf Feststoffgehalt ist völlig unzureichend.

Der Eintrittswiderstand des Grundwassers am Bohrlochmantel gilt nach [15] als überhöht, wenn der zu erwartende naturbedingte Mindestabsenkungsbetrag, der abhängig ist von

1. den geometrischen Abmessungen des Brunnens und
2. den hydraulischen Eigenschaften der Grundwasserleiter,

um 10 % oder mehr überschritten wird.

Als Äquivalent für den zusätzlichen Widerstand wird ein theoretisch zu erwartender Druckverlust einem gemessenen (Absenkungsbetrag der Grundwasseroberfläche zwischen Pegel 1 und Brunnen) gegenübergestellt. Mit Hilfe eines weiteren Pegels 2 kann bei entsprechenden Voraussetzungen (exakt für vollkommene Brunnen im ungeschichteten, isotropen Grundwasserleiter und bei Axialsymmetrie der Grundwasserströmung zum Brunnen) nach Erreichen des quasi-stationären Zustandes die theoretische Höhe des abgesenkten Brunnenwasserspiegels, z. B. für ungespanntes Grundwasser, nach DUPUIT/THIEM berechnet werden (siehe Bild 8):

$$h_{\text{Br.theor.}}^2 = h_{P_1}^2 \cdot (h_{P_2}^2 - h_{P_1}^2) \cdot \frac{\ln \frac{R_1}{R_B}}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \quad (9)$$

(ohne Berücksichtigung des Versickerungsanteils der Niederschläge).

Die Absenkung ergibt sich damit zu

$$s_{(P_1-\text{Br})\text{theor.}} = h_{P_1} - h_{\text{Br.theor.}} \quad (10)$$

Neben dieser gegebenenfalls einfachen und für den Praktiker überschaubaren Abschätzung gibt es zur Ermittlung des Skin-Effektes eine Reihe von weiteren Verfahren.

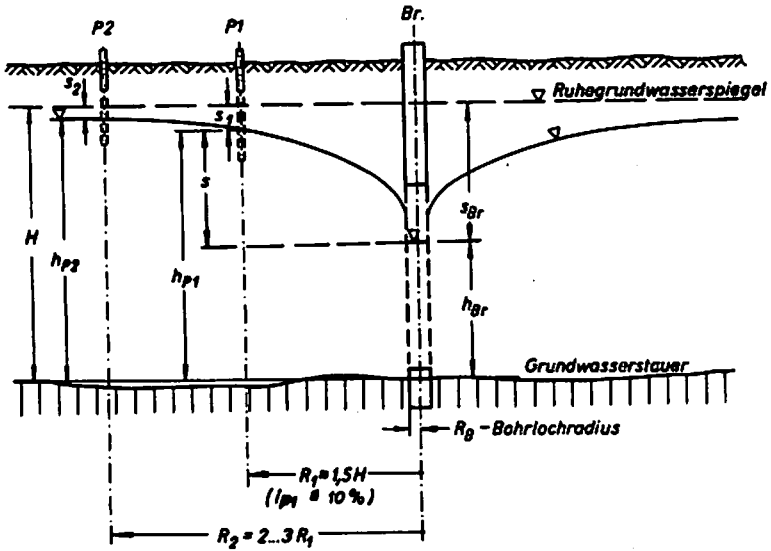


Bild 8: Pegelanordnung für Brunnen im ungespannten Grundwasser (Brunnen vereinfacht dargestellt - ohne Kiesschüttung; s Absenkung im Brunnen, bezogen auf den abgesenkten Wasserspiegel in P 1; i Standrohrspiegelgefälle)

4. Optimaler Ausbau der Filterbrunnen

Insbesondere zur Vermeidung von unerwünschten Vorgängen der mechanischen Erdstoffverformung ist eine gute Abstimmung des Brunnenausbaues auf das Gebirge erforderlich. Da abgesehen von den statischen Eigenschaften die Durchlässigkeit des Filterrohres, der Kiesschüttung und der brunnennahen Bereiche des Grundwasserleiters erhalten werden soll, ist als Grundvoraussetzung für den optimalen Ausbau der Filterbrunnen natürlich eine von vornherein vorhandene ausreichende Durchlässigkeit der Filterrohre (und eine ausreichende Festigkeit) erforderlich. (An dieser Problematik wird speziell für Kiesklebefilterrohre zur Zeit noch gearbeitet.)

Ist diese Voraussetzung erfüllt, so sind folgende konstruktive Forderungen zu beachten:

- a) Möglichst kleiner Ungleichförmigkeitsgrad des Filterkieses

$$U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \leq 1,5 \quad (11)$$

und wenig Unterkornanteil, um

- eine Kolmation von Bodenmaterial im Kiesfilter zu begrenzen,
- eine gute Durchlässigkeit zu erreichen,
- die spezifische Kornoberfläche gering zu halten,
- ein Entmischen beim Einbringen des Kieses zu vermeiden bzw. einzuschränken.

Bild 9 zeigt die Entmischung von Filterkies 2 ... 30 mm bei Fallversuchen aus 17 m Höhe in einer PVC-Rohrleitung NW 150 (im unteren Teil Plexiglasrohr NW 200).

Gerade bei Entwässerungsfilterbrunnen mit ihrer relativ

großen Teufe und ihren maßgebenden Filterstrecken im Brun-
nentiefsten ist dieser Entmischungseffekt besonders zu be-
achten. Die Folge sind hydrodynamische Störungen (nicht
gleichmäßige Durchströmung aller Filterbereiche), die mecha-
nische Erdstoffverformungen und Verockerungen begünstigen.

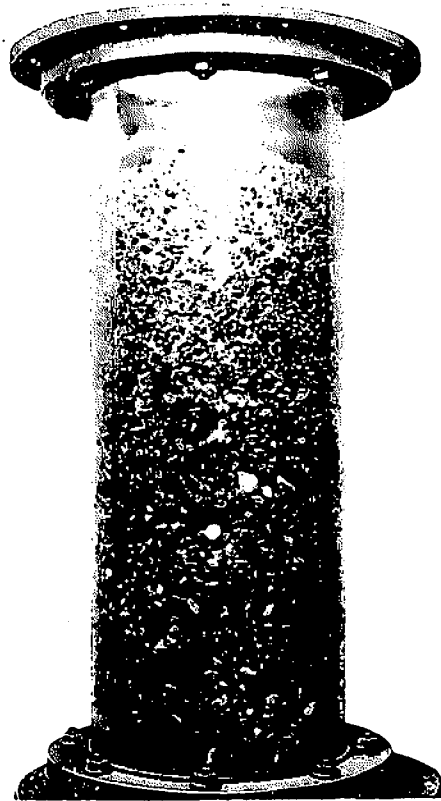


Bild 9:
Entmischung von
Filterkies bei
Fallversuchen

In Bild 10 sind die Fallzeiten einzelner Körner in Abhän-
gigkeit von der Fallhöhe unter Wasser aufgetragen worden.

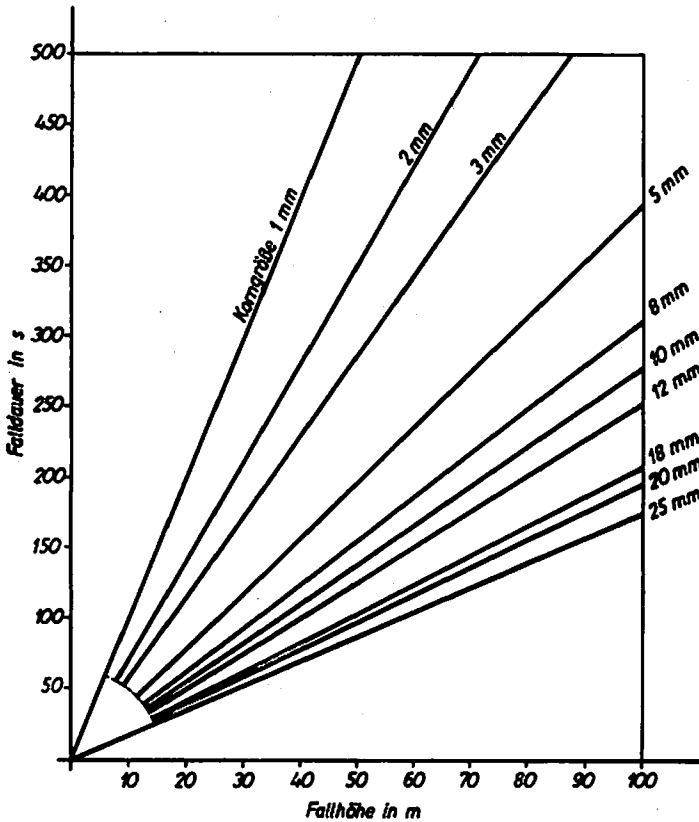


Bild 10: Falldauer einiger Filterkörner beim Einbringen in den Brunnen (unter Wasser)

b) Optimale Abstimmung der Fraktion des Filterkieses auf die des Grundwasserleiters

(Sicherheit gegen Kontakterosion an der Kontaktfläche Grundwasserleiter/Filter). Der "Filterfaktor" F ist für alle mit einer Kiesschüttung zu versehenen Horizonte zu ermitteln und soll einen zulässigen Maximalwert nicht überschreiten (Beispiel Bild 11).

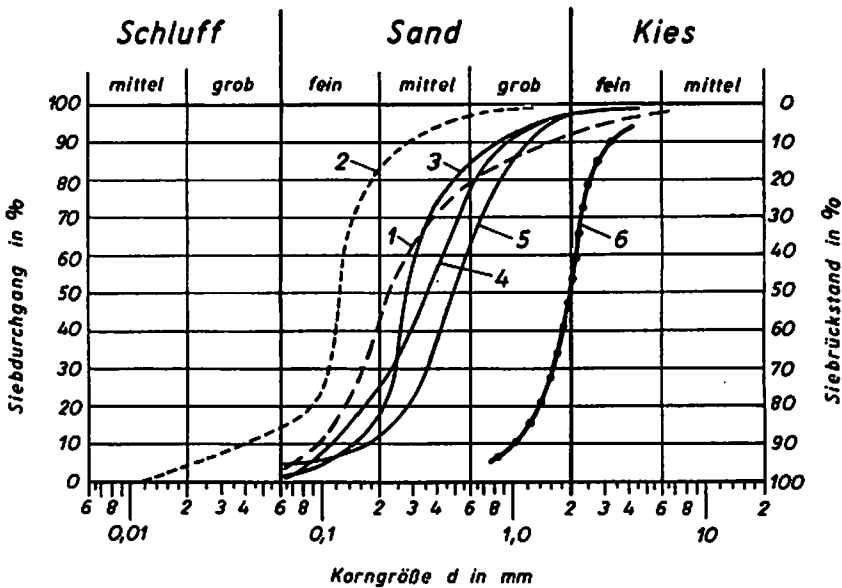


Bild 11: Schlamm- und Siebanalysen eines Grundwasserleiters (Kurven 1 bis 5) und der Filterschüttung (Kurve 6) eines Brunnens

Sichere Bemessungsverfahren sind die Beziehung

$$F = \frac{D_{50}}{d_{85}} \leq 4 \quad (12)$$

sowie die in Bild 12 (Kurve 1) im VEB BuS Welzow abgeleitete Beziehung zwischen $\frac{D_{10}}{d_{10}}$ und d_{10} , die mit älteren

Versuchsergebnissen von DAVIDENKOFF (Kurve 2) verglichen wird.

Nur vom Ungleichförmigkeitsgrad der Gebirgs- und Kieskörnung abhängig ist das in Bild 13 aufgetragene zulässige Verhältnis der mittleren Korndurchmesser $\frac{D_{50}}{d_{50}}$, das in der

Wasserwirtschaft gilt (siehe dazu [6]).

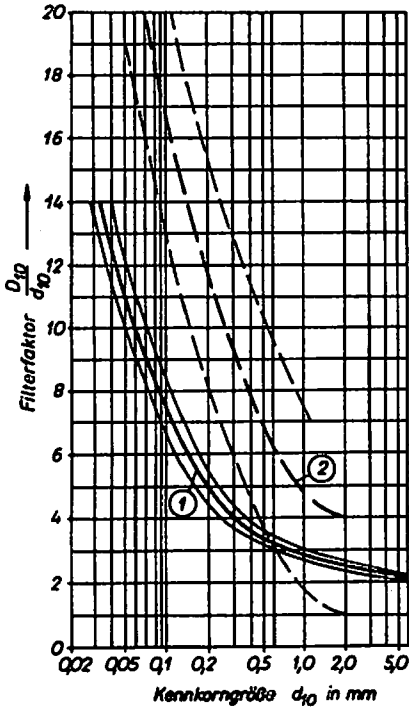


Bild 12:
 Filterfaktor $\frac{D_{10}}{d_{10}}$
 nach MÜLLER (Kurven 1)
 und DAVIDENKOFF (Kurven 2)

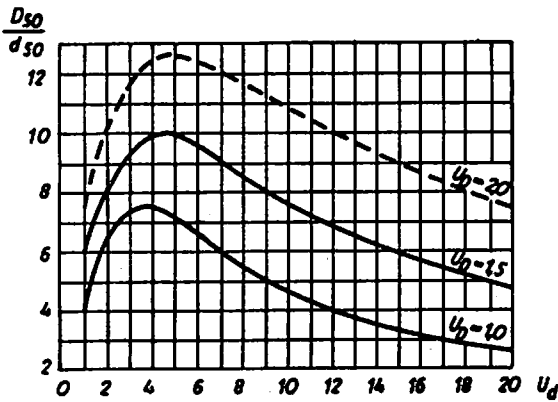


Bild 13:
 Filterfaktor
 $\frac{D_{50}}{d_{50}}$ nach [1]

- c) Der Korndurchlaß oder die Schlitzweite S des Filterrohres und die Körnung der Kiesschüttung müssen aufeinander abgestimmt sein.

S darf

- nicht zu groß sein, damit das maßgebende Feinstkorn des Kiesfilters nicht durch den Schlitz gelangen kann,
 - nicht zu klein sein, damit das größte Suffosionskorn des Grundwasserleiters, das die Poren des Kiesfilters passieren kann, noch durch den Schlitz gelangen kann.
- Diese Forderungen können wie folgt formuliert werden [1]:

$$\frac{D_{50}}{4\sqrt{U}} \leq S \leq \frac{D_{50}}{1,1 \cdot U^{0,8}} \quad (13)$$

Für $U = 2$ ergibt sich etwa

$$\frac{D_{50}}{6} \leq S \leq \frac{D_{50}}{2} \quad (14)$$

Wird bei einem Kieseblefilter der Körnung 1,6 bis 3,15 mm zum Beispiel eine Schüttung 1 bis 3 mm vorgesehen, was in der Praxis häufig beobachtet werden kann, so müßte nach Gleichung (14) $1 \text{ mm} \cong S \cong 0,33$ sein. Laborversuche ergaben jedoch, daß eine Sperrwirkung bei diesem Filterrohr schon bei Korngrößen $\cong 0,25$ mm eintritt (was übrigens einem Sperrfaktor $\frac{D_{50}}{d} = 7,6$ entspricht), so daß die Korngruppe 1 bis 3 mm als Kiesschüttung für Kieseblefilterrohre der Körnung 1,6 bis 3,15 mm bereits zu groß ist.

- d) Zum optimalen Ausbau des Filterbrunnens gehört außerdem, daß der "Skin-Effekt" (Verkleben der Bohrlochwandung) möglichst verhindert wird, daß weiterhin Korrosionerscheinungen möglichst vermieden werden (siehe Abschnitt 9); außerdem muß in Zukunft der Wahl von Material mit geringer Ockeradhäsion bei verockerungsgefährdeten Brunnen besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

5. Entsandung

Die zur Zeit in der Tagebauentwässerung noch gebräuchlichen Maßnahmen gegen "Versandungserscheinungen", wie Ausventilen des Brunnens, Höherhängen der Pumpe oder zeitweises Anbringen eines Saugrohres an der UWM-Pumpe, können nur als Ersatzlösungen angesehen werden. Echte Entsandungsmaßnahmen sind das Klarpumpen, die Intensiventsandung und Regenerierungen, auf die im Abschnitt 8 noch eingegangen wird. Diese Maßnahmen sind bei äußerer Kolmation infolge Skin-Effektes (unzulässige Erhöhung des Eintrittswiderstandes) besonders sorgfältig durchzuführen. Aber auch zur Verhinderung der Anlagerung der Ton- und Schluffteilchen der im Bohrloch befindlichen Spülflüssigkeit an den eingebrachten Filterkies ist das umgehend nach Fertigstellung des Brunnens vorzunehmende Klarpumpen von Bedeutung. Diese grobdispersen Teilchen lagern sich sonst so fest an den Filterkies an, daß

- der Durchlässigkeitsbeiwert des Kiesel zurückgeht,
- seine spezifische Oberfläche wesentlich größer wird und
- die Kolmation von Bodenmaterial begünstigt wird.

Dieser Vorgang konnte durch Laborversuche nachgewiesen werden [9].

Wenn beim Klarpumpen, das im allgemeinen steigend bis zum etwa 1,5fachen der Leistung erfolgt, keine Sandfreiheit erzielt wird oder wenn im Brunnen noch ein stark überhöhter Eintrittswiderstand nachgewiesen wird, dann sollte gegebenenfalls eine abschnittsweise und intermittierende Intensiventsandung mit etwa 5facher Förderleistung (bezogen auf den jeweiligen Entsandungsabschnitt) durchgeführt werden [15]. die insbesondere bei ungleichförmigem Bodenmaterial erfolgversprechend ist. Da eine unzureichende Entsandung zu Kolmation im Kiesfilter führt, muß sie sehr sorgfältig vorgenommen werden. Nur wenn konstruktive und Entsandungsmaßnahmen

men nicht zum Erfolg führen bzw. nicht durchgeführt werden können, sollte man in besonders kritischen Fällen die Brunnenleistung beschränken, um gegebenenfalls den Brunnen vor einer vollständigen Versandung oder vor einem Zusammenbruch zu bewahren. Bei einem gelegentlich erforderlichen Nachbohren eines Brunnens sollten die konstruktiven Gesichtspunkte besonders exakt beachtet werden.

6. Optimaler Brunnenbetrieb

Hierbei handelt es sich um Maßnahmen, die darauf hinzielen, bei verockerungsgefährdeten Brunnen betriebsbedingte Faktoren, die den Verockerungsprozeß begünstigen, auszuschalten bzw. einzuschränken. Das betrifft z. B. die Vermeidung von Schwankungen des Grundwasserspiegels bei verockerungsgefährdeten Brunnen, um die Aufnahme von Sauerstoff durch das Grundwasser einzuschränken, das heißt, man sollte gegebenenfalls keine Sondensteuerung vorsehen. Eine künstliche Infiltration von Wasser in Brunnennähe sollte vermieden werden. Um eine Vermischung des in der Regel sauerstoffreichen Grundwassers der oberen Zonen mit dem meist mehr eisenhaltigen der unteren Zonen möglichst zu vermeiden, sollte in der ersten Phase der Grundwasserabsenkung die UWM-Pumpe nicht im Brunnentiefsten angeordnet werden. Der Beschränkung der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers im Eintrittsbereich des Brunnens (Übergang Grundwasserleiter/Kiesschüttung, Kiesschüttung, Eintritt in das Filterrohr) kommt insofern eine Bedeutung zu, als diese den Nachschub der anorganischen Aufbaustoffe für die mikrobiologischen und biochemischen Vorgänge beeinflusst. Schließlich kommt der kurzfristigen Inbetriebnahme der fertiggestellten Brunnen Bedeutung zu, da langes Nichtbetreiben vor allem eine gleichmäßig dichte Besiedlung der

Oberflächen mit widerstandsfähigen Bakterienkulturen und Kontaktstoffen mit sich bringt, wie an Brunnen der Tagebaue Klettwitz und Delitzsch-SW nachgewiesen werden konnte. Ist aus betrieblichen Gründen die Aufnahme des Regelbetriebes kurz nach Fertigstellung des Brunnens nicht möglich, so sollte unmittelbar nach dem Klarpumpen sowie jeweils nach 2 bis 3 Monaten ein bakterizides Imprägnieren des Brunnens erfolgen.

7. Schutzmaßnahmen gegen Verockerung

Schutzverfahren gegen Brunnenverockerung haben die Aufgabe, verockerungsgefährdete Brunnen kontinuierlich zu schützen. Grundsätzlich sollen die bekannten bzw. denkbaren Verfahren wie folgt klassifiziert werden:

- a) Verzögerung der Fe^{2+} -Oxydation bis zum Austritt des Wassers aus dem Brunnen. Dazu dient vor allem die bakterizide Behandlung der Brunnen (z. B. Gammabestrahlung, regelmäßige Stoßchlorung) bzw. der Einsatz von Verockerungsinhibitoren (z. B. Einsatz von Cu-Schlacke als Filtermaterial) unter Beachtung der im Abschnitt 6 genannten Maßnahmen;
- b) Regelmäßige Beseitigung des noch frischen Ockerschlamms durch mechanische bzw. gegebenenfalls chemische Behandlung (z. B. regelmäßige Druckspülung oder regelmäßige Bürstung der maßgebenden Filterbereiche);
- c) Bewirkung der Fe^{2+} -Oxydation bereits vor Eintritt des Grundwassers in den Brunnen (pH-Erhöhung bzw. Sauerstoffzugabe über Infiltrationsrohre).

Bekannte Schutzverfahren sind insbesondere die Anwendung ionisierender Gamma-Strahlung durch radioaktive Nukleide und die regelmäßige Stoßchlorung, die beide auf ihrer

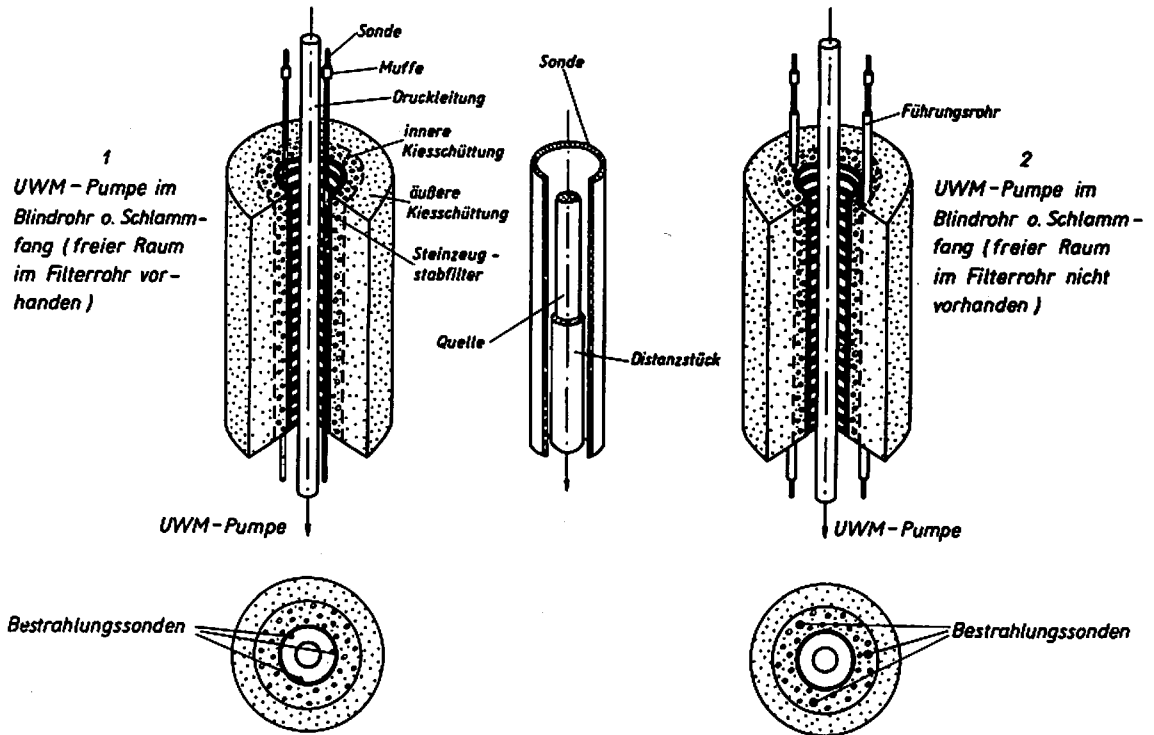


Bild 14: Einbaumöglichkeiten für Gammasonden in Entwässerungsfilterbrunnen [12]

bakteriziden Wirkung beruhen. Das Gammabestrahlungsverfahren, das 1971 für Wasserwerksbrunnen entwickelt worden war [11], wurde in zwei Brunnen des Tagebaues Klettwitz getestet. Dabei wurden die Bestrahlungs sonden im Oktober 1974 einmal in der Kiesschüttung und einmal direkt im Filterrohr, d. h. in einem schon betriebenen Brunnen, eingebaut (Bilder 14 und 15). Die stabförmigen, doppelt gekapselten und hermetisch verschlossenen Strahlenquellen des Isotops $^{60}_{27}\text{Co}$ wurden in den Sonden aus Edelstahl (Muffenrohre NW 14 mit



Bild 15:
Schutzrohr
für Bestrah-
lungsson-
den im
Filterkies
nach Anbringen
der Sondauf-
hängung in
einem Brunnen
des Tagebaues
Klettwitz

Außendurchmesser der Muffen von 26 mm) im Abstand von 0,5 m jeweils über 7 m im Brunnentiefsten angeordnet, wobei die Abstände durch Distanzstücke realisiert wurden. Dieser relativ geringe Abstand der Quellen wurde auf Grund der in diesem Bereich beobachteten starken Verockerungserscheinungen gewählt. (Der Fe-Gehalt der Brunnen betrug i. M. 7 bis 10 mg/l, im neu abgeteufte Brunnen anfangs sogar > 100 mg/l.) Die Nennaktivität einer der verwendeten Quellen beträgt 126,5 Ci = $4,7 \cdot 10^{12} \text{ s}^{-1}$, die Halbwertszeit wird mit $5,24 \pm 0,03$ Jahren angegeben. (Ein Nachladen der verbrauchten Aktivität ist nach 5 bis 10 Jahren erforderlich.) Die Schutzwirkung des Verfahrens ist dosisabhängig (Dosisleistungskonstante $12930 \text{ rd/h} \cdot \text{cm}^2/\text{Ci}$), wobei die Dosiswirkung mit Zunahme des Sauerstoffgehalts und der Bakterien-dichte zurückgeht. Als untere Grenze der erforderlichen Dosisleistung wurden der Berechnung Werte um $100 \text{ rd/h} = 1 \text{ J/kg}$ zugrunde gelegt [16]. Die Auswirkungen der Bestrahlung auf die Eindämmung des Verockerungsvorganges im Brunnen konnten eindeutig nachgewiesen werden [8], [9].

Eine Vorstellung über die Zerstörung des biologischen Fasergerüsts vermitteln die Bilder 16a und 16b. Die Aufnahmen erfolgten mit einer an das Mikroskop Xa005 angeschraubten Aufsetzkamera MF mit Objektiv 40 und Okular 10. Maßstab 1 : 630, das heißt, die Bildbreite entspricht 0,19 mm.

In Auswertung der durchgeführten Praxisversuche ist einzuschätzen, daß durch die Gammabestrahlung in Entwässerungstiefbrunnen auch unter ungünstigen Bedingungen (pH 4 bis 7, großer Fe^{2+} -Gehalt des Grundwassers) ein wirksamer Verockerungsschutz erreicht werden kann, wenn man schon beim Ausbau des Brunnens die Bestrahlungssonden mit einbaut. Bei bereits verockerten Brunnen kann infolge des Schlammmineralisationseffektes durch die Bestrahlung eine zumindest zeitweise Leistungsstabilisierung (ggf. Leistungsstei-

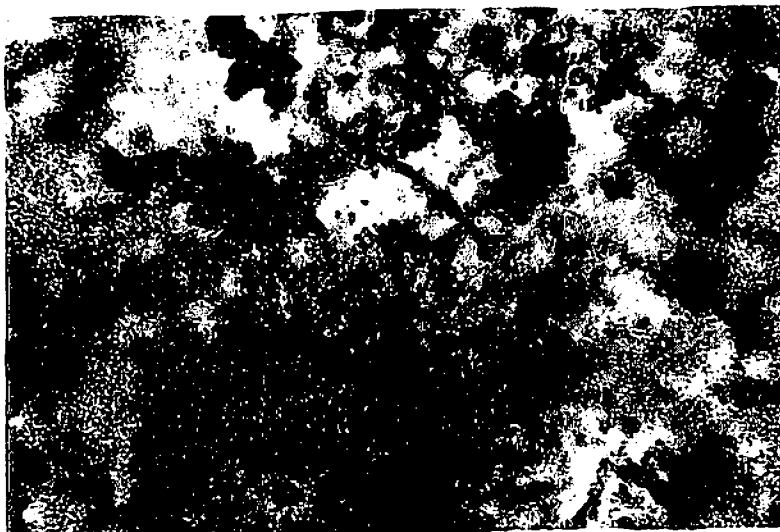


Bild 16: Bakterienbesatz auf Objektträgern
a) im unbestrahlten Brunnen nach 6 Tagen,
b) nach Bestrahlung bei 2wöchiger Expositionszeit
(Photos: Fr. Dr. GERSTNER, Dresden)

gerung) erwartet werden. Die Bestrahlungs sonden wirken dabei im wesentlichen auf den unmittelbaren Bestrahlungsbe reich, d. h., die Verzögerung der Fe^{2+} -Oxydation erstreckt sich schon nicht mehr auf Bereiche einige Meter über den Bestrahlungs sonden. Vielmehr waren, auch infolge Katalysa tion durch verrostete Steigleitungen, hier sehr starke Verockerungsvorgänge festzustellen.

Wie in [8] nachgewiesen wird, ist der Einsatz der wartungs freien Bestrahlungsanlagen auch aus ökonomischen Gründen zu empfehlen. Die Belange des Strahlenschutzes (zum Beispiel Verwendung von Strahlenwarngeräten, Aufenthaltsbeschränkungen am Brunnenkopf) müssen jedoch exakt beachtet werden.

Bei der regelmäßigen Stoßchlorung soll nach [14] etwa monatlich auf 1 l des im Brunnen stehenden Wassers rund 1 g Chlor gegeben und der Brunnen etwa 24 Stunden außer Betrieb genommen werden.

Bei der regelmäßigen Druckspülung, die in der VR Polen praktiziert wird, baut man in den Brunnen eine Vorrichtung ein, die im wesentlichen aus einem Elektromagneten besteht, der über einen Steuerregler Öffnungen in der Steigleitung des Brunnens periodisch öffnet, so daß Wasserstrahlen regelmäßig auf das Filterrohr auftreffen und eine Reinigung bewirken [17].

Ein Verfahren, das die Fe^{2+} -Oxydation im Grundwasserleiter, also bereits vor Eintritt des Grundwassers in den Brunnen bewirkt, wird in [4] vorgeschlagen (siehe Bild 17). Vor einer Brunnenreihe wird ein Riegel mit Infiltrationsrohren angeordnet. In die Infiltrationsrohre soll soviel sauerstoffangereichertes Wasser infiltriert werden, daß etwa 0,2 mg O_2 auf 1 mg des im Grundwasser gelösten zweiwertigen Eisens kommen (der stöchiometrische O_2 -Bedarf von Enteisungsanlagen beträgt 0,143 mg O_2 /mg Fe). Gegebenenfalls kann die Eisenausfällung auch durch pH-Erhöhung (Kalkzugabe)

erreicht bzw. beschleunigt werden. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt neben der Enteisung des Grundwassers mit dem Ziel der Verockerungsverhinderung der Brunnen in der Ausbildung eines unterirdischen Dichtungsschleiers, der das weitere Betreiben der Brunnenreihe auch durch die ggf. mögliche Außerbetriebnahme von Brunnen vereinfacht.

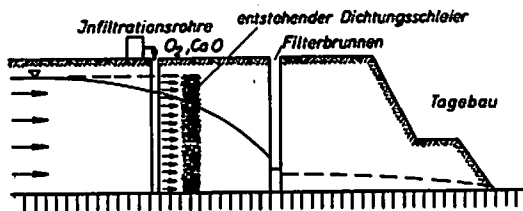
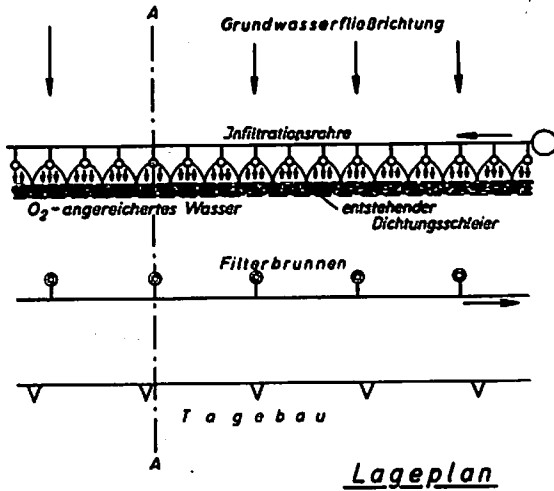


Bild 17: Enteisung des Grundwassers und Erzeugung eines Dichtungsschleiers aus Eisenoxidhydrat mittels Infiltration von Sauerstoff bzw. Kalk

8. Brunnenregenerierung

Mechanische Brunnenregenerierungen, bei denen im Wechsel in einem Arbeitsabschnitt Druckluft zugeführt und klargepumpt



**Bild 18: Kombiniertes Reinigungs- und Schlammgerät
für Filterbrunnen (VEB BKK Geiseltal)**

wird, sind in einigen Entwässerungsbetrieben im Bereich der VVB Braunkohle schon durchgeführt worden (z.B. in den fagebauen Böhlen [10] und Profen). Ein kombiniertes Reinigungs- und Schlammgerät, das aus einer Bürste und einer Schlamm-pumpe besteht (Bild 18) und für die Brunnenreinigung von noch nicht verfestigtem Schlamm geeignet ist, wurde im VEB BKK Geiseltal entwickelt.

Bei stärker verfestigten Filterverdichtungen wird in der Wasserwirtschaft eine kombinierte mechanisch-chemische Behandlung durchgeführt, bei der nacheinander eine mechanische Vorreinigung, Preßluftbehandlung und Säuerung vorgenommen wird. Mit diesem Verfahren wurden Leistungssteigerungen um das 10fache erreicht.

Im Bild 19 wird die Technologie einer mechanischen Brunnenregenerierung mit Druckluft dargestellt.

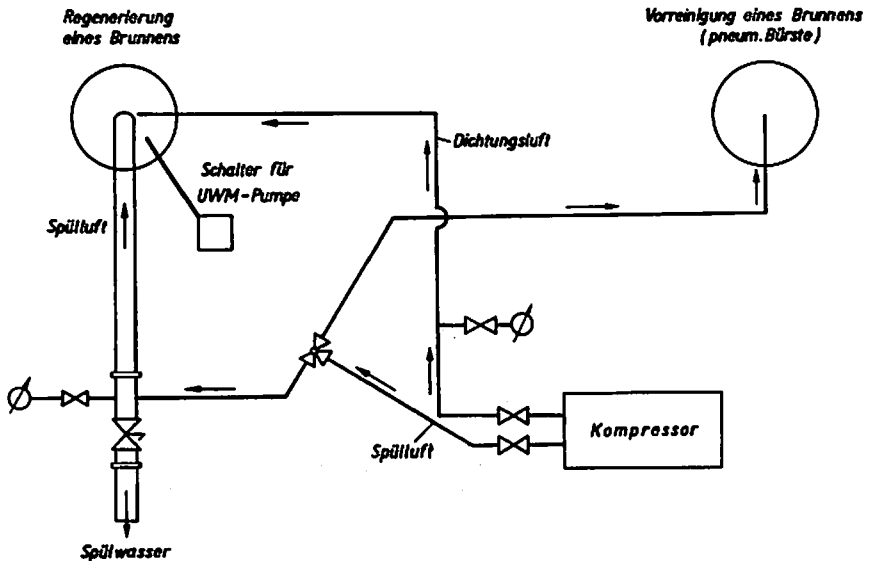


Bild 19: Prinzipskizze zur Durchführung der Brunnenregenerierung mit Druckluft

Vom Kompressor wird in einem ersten Arbeitsgang jeweils Druckluft in den mit aufblasbaren Gummimanschetten abgetrennten Arbeitsabschnitt des zu regenerierenden Brunnens gedrückt, während im zweiten Arbeitsgang jeweils die UWM-Pumpe das Wasser-Luft-Feststoff-Gemisch aus dem Brunnen fördert und gleichzeitig der Kompressor Druckluft in einen zweiten Brunnen drückt, der mittels einer "pneumatischen Bürste" (siehe [8]) vorgereinigt wird.

Preßluftbehandlung (O_2 -Zufuhr = Aktivierung des Verockerungsprozesses) und Säuerung (Korrosion bei Stahl- und Betonfilterrohren; in der Wasserwirtschaft wird deshalb Hivolinsäure, das ist Salzsäure mit Korrosionsschutzinhibitoren, verwendet) sind jedoch nur bedingt zu empfehlen.

Druckluftregenerierungen sind dann von größerem Interesse, wenn die mechanische Kolmation als Hauptkomponente der Leistungsminderung auftritt.

Ein Verfahren der Druckwasserspülung nach [13] wird im Bild 20 dargestellt: Ein perforiertes Rohrstück (1) mit einer Länge von etwa 1 bis 2 m wird von oben und unten mit Dichtungen (2) und unten zusätzlich mit einem Führungsstutzen (3) versehen. Die UWM-Pumpe (5) ist über ein T-Stück (6) und eine Druckleitung (4) mit dem Arbeitsabschnitt verbunden, so daß das zur Filterreinigung verwendete Druckwasser direkt aus dem zu regenerierenden Brunnen entnommen werden kann. Die Steigleitung (7), der Schieber (9), die Abflußleitung (10), die zu Beginn der Regenerierung gegebenenfalls als flexibler Schlauch in den Brunnen zurückgeführt werden sollte, um ein zu schnelles Abreißen der Wassersäule bei der Reinigung des ersten Filterabschnittes zu vermeiden, sowie ein Manometer (8) sind erforderlich, um den Fördervorgang der Pumpe zu beherrschen. (Die Reinigung des gespülten Abschnittes erfolgt nach dem Herablassen der Vorrichtung auf den nächsten Arbeitsab-

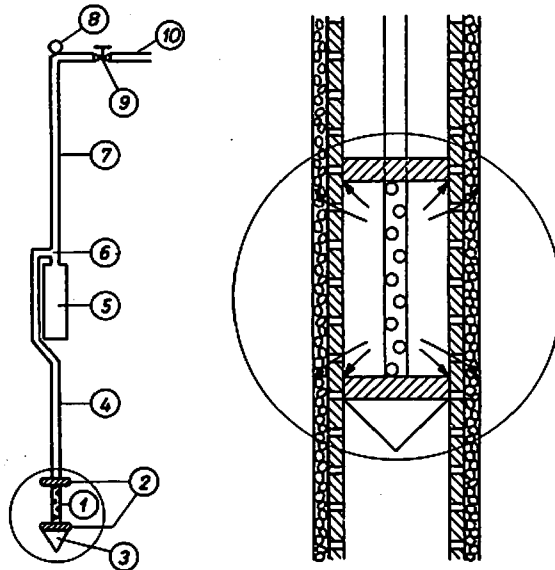


Bild 20: Vorrichtung zur Brunnenregenerierung durch Druckwasser, links Prinzipskizze, rechts Vergrößerung des Arbeitsabschnittes

schnitt.) Die Nachteile der Regenerierung liegen jedoch auf der Hand, denn

- es kommt erst zu Leistungsminderungen und Ausfällen,
- eine vollständige Wiederherstellung der Ausgangsleistung ist meist nicht möglich,
- es erfolgt relativ schnell eine erneute Verockerung, so daß möglichst einem ständigen vorbeugenden Schutz des Brunnens der Vorzug zu geben ist.

Bei der chemischen Regenerierung müssen neben den genannten allgemeinen Nachteilen der Regenerierung gegenüber den Schutzverfahren folgende Nachteile bzw. Bedingungen beachtet werden:

- Der Brunnen ist je nach verwendetem Chemikal 1 bis 3 Tage außer Betrieb zu nehmen.
- Eine Regenerierung des Kiesfilters und gegebenenfalls der grundwasserführenden Schicht im Bereich des Brunnens bleibt beschränkt, wenn keine mechanische Auflockerung erfolgt, da in der Regel nicht allein Verockerung, sondern auch mechanische Kolmation die Ursache der Leistungsminderungen ist. Das heißt, eine wirksame chemische Behandlung kann im allgemeinen nur in Verbindung mit einer mechanischen Regenerierung erwartet werden.
- Bei Betonfilterrohren ist die Betonaggressivität des verwendeten Chemikals vorher festzustellen.

9. Korrosionsschutz im Filterbrunnen

Wie bereits dargestellt wurde, können Korrosionsvorgänge entscheidend an Leistungsminderungen und gegebenenfalls sogar am Einsturz eines Brunnens beteiligt sein. Außerdem geht durch Korrosion wertvolles Material verloren, das bei entsprechenden Maßnahmen erhalten werden könnte. Die in der DDR durch Korrosionsschäden auftretenden volkswirtschaftlichen Verluste werden nach [18] auf über eine Milliarde Mark jährlich geschätzt. Der auf dem IX. Parteitag beschlossene Plan der Entwicklung der Volkswirtschaft der DDR 1976 bis 1980 stellt deshalb allen Bereichen die Aufgabe, die Korrosionsverluste um 30 % zu verringern.

Den Korrosionsschutzmaßnahmen, die sich einteilen lassen in

- a) präventiven Korrosionsschutz,
- b) Maßnahmen des passiven Korrosionsschutzes und
- c) aktive Schutzmaßnahmen (elektrochemische Schutzmaßnahmen, z. B. Kathodenschutz; Beeinflussung des Korrosionsmediums, z. B. durch Zugabe von Inhibitoren),

muß deshalb in der Filterbrunnenentwässerung unbedingt Bedeutung beigemessen werden.

Forderungen des präventiven Schutzes sind vor allem:

- Kein Einsatz von Betonfilterrohren in aggressivem Grundwasser,
- Stahlteile von vornherein durch entsprechende Schutzschichten (z. B. Anstriche, Plastbeschichtungen, Metallspritzschichten) schützen bzw.
- Verwendung von korrosionsfestem Material.

Die Forderung nach korrosionsbeständigem Material ist in erster Linie ein Arbeitskräfteproblem. Das wird deutlich, wenn man die Einflußfaktoren betrachtet, die die Lebensdauer und die Korrosionsschutzwirkung eines Anstriches beeinflussen (Bild 21).

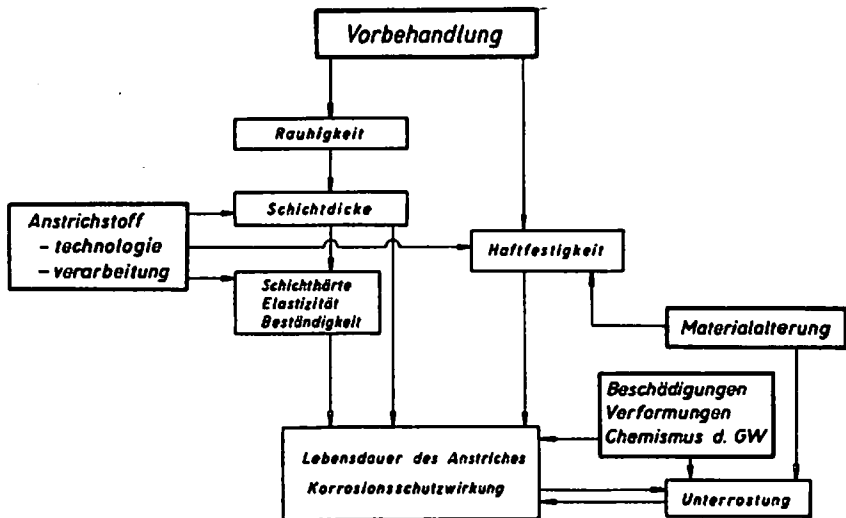


Bild 21: Einflußfaktoren auf Lebensdauer und Korrosionsschutzwirkung eines Anstriches

Der passive Korrosionsschutz besteht praktisch in der Beherrschung und Minimierung der durch Korrosion entstandenen Schäden mittels Oberflächenbehandlung. Insbesondere muß dabei auf eine ausreichende Vorbehandlung (Entrostung), auf die Zusammensetzung, Verarbeitung und Aufbringung der Schutzschicht (in der Regel des Anstrichstoffes), auf Beschädigungen und Verformungen und natürlich auf den Chemismus des Grundwassers geachtet werden (Bild 21; siehe auch [2]). Der Einfluß der Untergrundvorbehandlung auf die Haltbarkeit von Anstrichen geht aus folgender Übersicht [18] hervor.

Untergrundvorbereitung		Lebensdauer des Anstrichs in Jahren
Methode	Qualität	
ohne UVB	Streichen auf unbeschädigte Walzhaut	3 ... 4
Handentrostung	Entfernen von abblättern-dem Walzzunder und Flugrost	4
mechanische Entrostung	Entfernen von abblättern-dem Walzzunder und Flugrost	5 ... 6
Flammenentrostung	Entfernen von Walzhaut, Zunder und Rost	7 ... 8
Beizen	Entfernen von Walzhaut, Zunder und Rost, vollständige metallblanke Entrostung	6 ... 8
Strahlen	dto.	8 ... 12

Der kathodische Schutz von Rohrleitungen bzw. Stahlteilen im Filterbrunnen ist besonders dann von Interesse, wenn neben der Acidität des Grundwassers auch vagabundierende Ströme zu beachten sind, die durch den Gleichstromfahrbetrieb der Grubenbahnen im Tagebau entstehen können. (Ein weitgehender

Schutz gegen diese Beeinflussung kann jedoch auch durch Schienenverbinder sowie durch Isolation der Rohrleitungen gegen das Erdreich erreicht werden.)

10. Literaturhinweise

- [1] Autorenkollektiv: Brunnen für Grundwassergewinnungsanlagen. Werkstandard-Bemessungsgrundlagen, Bl. 1 - 4, und Studie zu den Bemessungsgrundlagen. VEB Projektierung Wasserwirtschaft, Halle 1971.
- [2] Clausnitzer, R., und Pohlmann, H.-W.: Effektiver Korrosionsschutz in der Wasserwirtschaft - eine Qualifizierungsproblem. WWT 17 (1975) 4, S. 125 - 128.
- [3] Drews, I., und Drews, K.H.: Chemie des Wassers. VEB Dt. Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig, 1973.
- [4] Folkens, K.: Theoretische Betrachtungen über die Erzeugung eines Dichtungsschleiers zur Tagebauentwässerung bei Vorhandensein eisenhaltiger Grundwässer. Neue Bergbautechnik 3 (1973) 12, S. 891 - 896.
- [5] Folkens, K.: Einige Bemerkungen zu Problemen des Filterbrunnenbetriebes in der Entwässerung von Braunkohlentagebauen. Neue Bergbautechnik 4 (1974) 4, S. 244 - 247.
- [6] Folkens, K.: Leistungsminderung und Alterung von Entwässerungsfilterbrunnen. Neue Bergbautechnik 5 (1975) 7, S. 504 - 513.
- [7] Folkens, K.: Einige Bemerkungen zur Regenerierung verockerter Rohrleitungen und zum Schutz der Rohrleitungen vor Verockerungen in der Tagebauentwässerung. Neue Bergbautechnik 5 (1975) 12, S. 906 - 910.
- [8] Folkens, K.: Leistungsminderungen an Entwässerungsfilterbrunnen. F/E-Abschlußbericht (Arbeitsstufe AF 3), Bergakademie Freiberg, Sektion Geotechnik und Bergbau, 1975 (unveröffentlicht).
- [9] Folkens, K.: Maßnahmen gegen Leistungsminderungen infolge Filterverdichtung bei Entwässerungsfilterbrunnen. Neue Bergbautechnik 6 (1976) 7, S. 492 - 498.
- [10] Pfeiffer, H.: Zum Einsatz von Sickerbrunnen in der Deckgebirgsentwässerung des Tagebaues Böhlen. Bergbautechnik 18 (1968) 4, S. 188 - 193.

- [11] **Wissel, D., und Gerstner, W.: Schutzverfahren gegen Brunnenverockerung. Arbeitsstufe V 5, unveröffentl. Forschungsarbeit, WTZ WAB, Leipzig 1971.**
- [12] **Wissel, D., und Gerstner, W.: Die Gammabestahlung der Brunnenfilter - ein wirksames Schutzverfahren gegen Brunnenverockerung. WWT 23 (1973) 6, S. 191 - 200.**
- [13] **Wlodkowski, J.: Przynad do rekonstrukcji studzien wierconych. Technika poszukiwań. Warszawa (1973) 47/48, S. 43 - 45.**
- [14] **Hinweise zur Verhütung der biologischen Brunnenverockerung. DVGW-Merkblatt W 131 (1970).**
- [15] **Entsanden und Entschlammen von Bohrbrunnen (Vertikalbrunnen) im Lockergestein und Verfahren zur Feststellung überhöhten Eintrittswiderstandes. DVGW-Merkblatt W 117 (Entwurf 1973).**
- [16] **Dokumentation zum Einsatz des Schutzverfahrens Gammabestahlung im Tagebau Klettwitz. VEB WAB Halle/S., 1974.**
- [17] **Neue Einrichtung zum Reinigen von Brunnenfiltern. Górnicтво odkrywkowe (1972), S. 47.**
- [18] **Korrosion und Korrosionsschutz von Stahl. Herausgegeben von der Stahlberatungsstelle Freiberg. VEB Dt. Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig, 1976.**