

Tabelle 4. Elektro- und Druckluftmotoren in den Grubenbetrieben der Bundesrepublik.

Leistung in kW	Anzahl	Elektromotoren			
		im Einsatz		in Reserve	
		Anzahl	Anteil in %	Anzahl	Anteil in %
5	761	661	86,9	100	13,1
7,5	350	284	81,2	66	18,8
11	765	666	87,0	99	13,0
15	678	566	83,5	112	16,5
22	1 663	1 467	88,2	196	11,8
30	2 197	1 891	86,0	306	14,0
40	2 502	2 173	86,8	329	13,2
50	643	559	87,0	84	13,0
68	349	284	81,2	65	18,8
80 bis 90	198	169	85,4	29	14,6
100 bis 110	105	88	83,8	17	16,2
120 bis 130	51	35	68,6	16	31,4
Zusammen	10 262	8 843	86,2	1 419	13,8

Leistung in PS	Anzahl	Druckluftmotoren			
		im Einsatz		in Reserve	
		Anzahl	Anteil in %	Anzahl	Anteil in %
5 bis 8	107	86	80,4	21	19,6
10	719	593	82,4	126	17,6
12 bis 13	1 522	1 321	86,8	201	13,2
15	140	123	87,8	17	12,2
20	306	235	76,8	71	23,2
25	12	9	75,0	3	25,0
32	300	244	81,4	56	18,6
35 bis 40	59	40	64,9	19	35,1
50	171	129	75,5	42	24,5
55	36	30	83,3	6	16,7
75	2	2	100	—	0,0
Zusammen	3 274	2 712	82,8	562	17,2

kosten mit zur Zeit etwa 24 000 DM für je 1000 m³/h bereit-
zustellender Kompressorleistung. Druckluftverbraucher, die die
Verbrauchsspitzen hochtreiben, sind daher wieder besonders
elektrifizierungswürdig.

Die wirtschaftliche Auswirkung weiterer Verbrauchseinschrän-
kungen ist nicht gering. Eine Verringerung des Druckluftver-
brauchs im bundesdeutschen Steinkohlenbergbau um durch-
schnittlich 10%, und das müßte wenigstens erreichbar sein,
bedeutet immerhin eine jährliche Ersparnis an Bezugskosten von
rd. 9,3 Mill. DM. Geht man davon aus, daß die Verbrauchsein-
schränkung je zur Hälfte durch Einschränken der Verluste und

durch Elektrifizierung herbeigeführt wird, dann liegt die echte Ko-
steneinsparung in der Größenordnung von rd. 8 Mill. DM/a.

Abschließend noch eine Bemerkung zu der Betriebsreserve der
Druckluft- und der Elektromotoren, die bei der Erhebung geson-
dert erfaßt wurde. Tabelle 4 zeigt eine Zusammenstellung der im
Einsatz und in der Reserve befindlichen Motoren, nach Leistungs-
größen geordnet. Im Schnitt über alle Leistungsgrößen betrug
demnach die Reserve bei den Elektromotoren 13,8% und bei den
Druckluftmotoren 17,2%. Sie hat bei den 30 Zechen ein Kapital
von rd. 14,8 Mill. DM gebunden und, gemessen an den Zahlen-
angaben der Tabelle 2, Kapitalkosten in der Größenordnung von
2,1 Mill. DM/a verursacht, eine Summe, die zum Nachdenken
anregt und die Bedeutung der Typisierung für die Vereinfachung
und Zentralisierung der Reservelagerhaltung unterstreicht.

Zusammenfassung

Bei reinen Bezugskosten von beispielsweise 0,06 DM/kWh und
9,30 DM/1000 m³ betragen die durchschnittlichen Energie-
kosten am Betriebsmittel vor Ort wegen der Verluste und der
Kosten für die Übertragungssysteme nach dem Stand von 1971
rd. 0,225 DM/kWh und 23,05 DM/1000 m³. Sie übersteigen
damit die üblichen Vorstellungen und fordern zur sparsamen
Verwendung der Energie auf. Bezieht man auch noch die Kosten
für die Betriebsmittel in die Rechnung ein, dann kostet die
Arbeitseinheit von einer Kilowattstunde an der Abtriebswelle
eines Motors vergleichsweise bei elektrischem Betrieb 0,365 DM
und bei Druckluftbetrieb 1,51 DM. Der im Schnitt also mehr als
viermal teure Druckluftbetrieb unterstreicht die wirtschaftliche
Bedeutung der Elektrifizierung und hat in den vergangenen Jahren
die Druckluft aus dem Grubenbetrieb in größerem Umfang
verdrängt. Das Kostenverhältnis von 4:1 zuungunsten der Druckluft
ist nur ein richtungsweisender Wert und darf nicht für Kosten-
vergleichsrechnungen bei geplanten Umstellungen von Druckluft
auf elektrischen Betrieb herangezogen werden. Solange zwei
Energiesysteme bestehen, gibt es eine wirtschaftliche Grenze
für die Austauschbarkeit der Energiearten, die nicht überschritten
werden darf. Obwohl der Substitutionsspielraum inzwischen
kleiner geworden ist, gibt es eine Reihe von Möglichkeiten den
Druckluftverbrauch weiter einzuschränken. Bei jährlichen Kosten
von rd. 140 Mill. DM für die Druckluftwirtschaft der Gruben des
bundesdeutschen Steinkohlenbergbaus sollten diese Möglich-
keiten genutzt werden.

Schwerentflammbare Druckflüssigkeiten
für hydraulische Bergwerksmaschinen

Von Ing. (grad.) Jürgen Reichel, Essen¹

Mit finanzieller Unterstützung des Landes Nordrhein-Westfalen
in den Jahren 1967 bis 1969 und zusätzlich mit Beihilfen der
Kommission der Europäischen Gemeinschaften in den Jahren
1970 und 1971 führte der Steinkohlenbergbauverein gemeinsam
mit der Westfälischen Berggewerkschaftskasse in Zusammenarbeit
mit der Hauptabteilung Technische Chemie des Rheinisch-
Westfälischen Technischen Überwachungs-Vereins e. V. ein
umfangreiches Forschungs- und Entwicklungsvorhaben durch,
das die Umstellung hydraulischer Einrichtungen, Anlagen und
Geräte im Steinkohlenbergbau unter Tage von Mineralöl auf
schwerentflammbare Druckflüssigkeiten zum Ziele hatte. Diese

Forderung wurde schon im § 79 Abs. 6 der Bergverordnung für
die Steinkohlenbergwerke im Verwaltungsbezirk des Oberberg-
amts in Dortmund vom 18. Dezember 1964 (BVOST) gestellt
und anfangs — wenn überhaupt — kaum mit Erfolg praktiziert.

In den Betrieben des Steinkohlenbergbaus waren im Ruhrrevier
etwa 20 000 hydraulische Einrichtungen, Anlagen und Geräte mit
einem Investitionswert von 85 Mill. DM vorhanden, die umge-
stellt werden mußten.

Zu Beginn des Entwicklungsvorhabens befanden sich schon eine
größere Anzahl von schwerentflammbaren Hydraulikflüssigkeiten
auf dem Markt und einige davon, soweit diese geprüft und von der
Bergbehörde nicht beanstandet worden waren, auch in den
Grubenbetrieben im Einsatz. Schwierigkeiten traten besonders

¹ Vorgetragen am 26. März 1973 auf dem Kolloquium des Fachausschusses
»Energieversorgung und Steuerungstechnik« beim Steinkohlenbergbauverein in
Essen.

häufig mit wasserhaltigen Druckflüssigkeiten der Gruppe HSC auf. Die Betriebsergebnisse waren hauptsächlich dadurch gekennzeichnet, daß die Lebensdauer der Pumpen sehr stark zurückging und teilweise weniger als 20% der Laufzeit vergleichbarer mit Mineralöl betriebener Hydraulikaggregate erreichte.

Erkenntnisse aus dem Maschinenbau der Industrie, soweit solche in dieser speziellen Richtung zu dieser Zeit überhaupt vorhanden waren, konnten nicht ohne weiteres auf im Bergbau eingesetzte Maschinen übertragen werden. Aus den kontrollierten Betriebsversuchen, den Prüfstandsversuchen und nicht zuletzt aus den schon vorliegenden praktischen Erfahrungen von Herstellern und Anwendern waren die für Betrieb mit HS-Flüssigkeiten bestgeeigneten Bauelemente und Anlagen auszuwählen bzw. konstruktiv so zu verbessern, daß sie betriebssicher und möglichst wirtschaftlich betrieben werden können.

Erfahrungen mit Strömungskupplungen, mit Wagnvorziehern und mit Lademaschinen

Strömungskupplungen

Das Ergebnis der ersten Betriebsversuche, die an 120 Strömungskupplungen auf 16 Zechen durchgeführt wurden, führte im Jahre 1969 zur Umstellung dieser hydrodynamischen Geräte auf wasserfreie, synthetische Flüssigkeiten der Gruppe HSD. In der Folgezeit gemeldete Schäden beschränkten sich meist auf die Radialwellendichtringe in den Kupplungen.

Bei Einhalten der zulässigen Toleranzen an der Dichtlippe (Vorspannung) besitzen Kupplungen mit Vitondichtungen bei Verwendung von HSD-Flüssigkeiten eine gute Betriebssicherheit. Eine Verringerung der Lagerlebensdauer in den Kupplungen nach der Umstellung konnte nicht festgestellt werden. Das Ansprechen der Schmelzstopfen bei thermischer Überlastung der Kupplungen und das damit verbundene Ausspritzen der Betriebsflüssigkeit (Bildung von Aerosolen) wurde durch betriebliche Maßnahmen wesentlich eingeschränkt.

Hydrostatische Wagnvorzieher

An Ladestellen und im Schachtbereich werden in den Grubenbetrieben des Steinkohlenbergbaus zur Fortbewegung der Förderwagen stationäre hydrostatische Vorzieheinrichtungen verwendet. Ein wirtschaftlich und technisch vertretbarer Einsatz dieser Anlagen mit schwerentflammaren Druckflüssigkeiten erfordert in erster Linie auf die Flüssigkeit abgestimmte Pumpen und Ventile sowie geeignete Filter und Dichtungen.

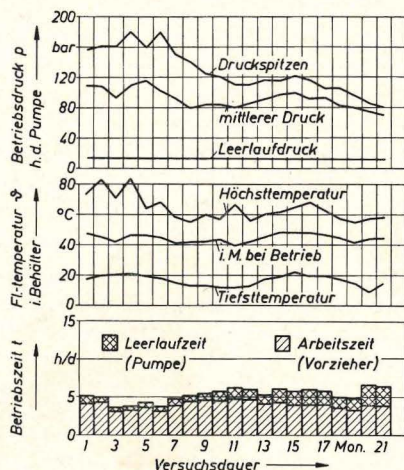


Bild 1. Die für Betriebsdruck, für Flüssigkeitstemperatur und für Betriebszeit eines Vorziehers ermittelten Werte (Zahnradpumpe ZnFCD 150; Pydraul 280).

Messungen an hydraulisch umgesteuerten Vorziehern ergaben teilweise Drucksitzen beim Umsteuern der Zylinder von 160 bar. Nach Umbau der Steuerventile wurden nur noch Höchstwerte von 120 bar erreicht.

Im Bild 1 sind die in einem Betriebsversuch über 21 Monate ermittelten Werte für Betriebsdruck, Flüssigkeitstemperatur und Betriebszeit aufgetragen.

Es wurden folgende Fabrikate untersucht:

Hydraulisch umgesteuerte Vorzieher:

Düsterloh HVH der G. Düsterloh GmbH.

Mechanisch umgesteuerte Vorzieher:

Mönninghoff MV 60 der Maschinenfabrik Mönninghoff.

Hausherr HVZ 80 der Maschinenfabrik Rudolf Hausherr & Söhne GmbH.

Hauhinco HV 60 und HV 70 der Hauhinco Maschinenfabrik G. Hausherr, Jochums & Co. KG.

Zahnradpumpen: Düsterloh ZnFC 120 und ZnFCD 150 der G. Düsterloh GmbH.

Drehflügelpumpen: Vickers V 434 S 214 der Vickers, Sperry Rand GmbH.

Konzentrische Sperrschieberpumpen: Sauer & Sohn EH 6 50 z und EH 8 50 J der Sauer & Sohn, GmbH.

Heute werden Vorzieheranlagen fast ausschließlich mit Druckflüssigkeiten der Gruppe HSC betrieben. Bewährt haben sich hier lagerentlastete Zahnradpumpen und konzentrische Sperrschieberpumpen. Bei Betriebsdrücken bis zu 120 bar werden Standzeiten von 8 bis 10 Monaten bzw. Laufzeiten von mehr als 2000 Betriebsstunden erreicht. Die Flüssigkeitstemperaturen im Tank der Vorzieheranlagen sollen 50 °C möglichst nicht überschreiten.

Der Verschmutzungsgrad der Druckflüssigkeiten beeinflusst die Lebensdauer der Pumpen erheblich. Nach den Ergebnissen umfangreicher Untersuchungen kann an hochbelasteten Betriebspunkten die höchstzulässige Verschmutzung der HSC-Flüssigkeit mit 4 g/l angegeben werden. Bei Überschreiten dieses Wertes ist unbedingt ein Flüssigkeitswechsel vorzunehmen. Filteranlagen, welche die äußerst feinkörnigen Verunreinigungen herausfiltern, zeigten bisher keine ausreichende Wirkung. Als Kompromiß zwischen optimaler Wirksamkeit der Filter und zumutbarem Wartungsaufwand werden heute in Vorzieheranlagen Rücklaufilter mit 40 bis 60 µm Filterfeinheit verwendet.

Lademaschinen mit hydrostatischer Betätigung

Lademaschinen mit hydrostatischer Betätigung wie Senklader und Seitenkipplader konnten nach umfangreichen Untersuchungen ebenfalls auf schwerentflammare Druckflüssigkeiten umgestellt werden.

Es konnten hier nur teilweise die Erfahrungen aus der Umstellung von Wagnvorziehern verwendet werden, weil Betriebsbedingungen und Arbeitsweise der Maschinen andere Maßnahmen erfordern. Messungen mit schreibenden Geräten konnten z. B. nicht über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden. Ebenfalls waren teilweise konstruktive Änderungen erforderlich, wie beispielsweise Trennung des Hydrauliktanks vom mechanischen Getriebe, wenn mit HSC-Flüssigkeiten gefahren werden sollte.

Es wurden folgende Maschinen untersucht:

Senklader GSRI und GSRII Hy der Maschinenfabrik Rudolf Hausherr & Söhne GmbH mit Mineralöl und HSC-Flüssigkeit.

Seitenkipplader HL 180 K, HL 280 RK und HL 580 K der Salzgitter Maschinen AG mit HSD- und HSC-Flüssigkeit.

Eimco-Seitenkipplader 632 H der Faßbender, Siepmann & Co. KG mit HSC-Flüssigkeit.

Seitenkipplader SP 300 und SP 600 der Franz Schlüter GmbH mit HSC-Flüssigkeit.

Westfalia-Hydrolader S System Deilmann der Westfalia Lünen mit Mineralöl und HSD-Flüssigkeit.

Folgende Hydraulikflüssigkeiten wurden verwandt:

Gruppe HSC:

Ecubsol-Widroflam 5,5 der Wenzel & Weidmann GmbH.

Ucon Hydrolube 275 CPN der Brenntag Mineraloel GmbH & Co.

Hydrofluid HSC (Ed 68/03) der Mobil Oil AG in Deutschland.

Gruppe HSD:

Pydraul 280 der Monsanto (Deutschland) GmbH.

SHF Olex 0204 der BP Benzin und Petroleum AG.

Senklader werden mit Axialkolbenpumpen und HSC-Flüssigkeiten betrieben, wenn die Betriebsdrücke unter 160 bar liegen. Höhere Betriebsdrücke erfordern die Verwendung von HSD-Flüssigkeiten. Der Druckverlauf bei verschiedenen Arbeitsgängen ist im Bild 2 dargestellt.

Vorteilhaft ist bei Maschinen mit Druckluftantrieb die Verwendung des aus den Motoren austretenden Luftstromes zur Kühlung der Druckflüssigkeit im Tank. Dadurch kann im Gegensatz zu Maschinen mit Elektroantrieb eine günstige Betriebstemperatur von rd. 50 °C eingehalten werden. Bei sorgfältiger Wartung kann in Senkladern mit HSC-Flüssigkeiten und Axialkolbenpumpen eine Pumpenstandzeit von rd. 2000 Betriebsstunden erreicht werden.

Verschmutzungen in der Flüssigkeit und hohe Betriebstemperaturen verringern auch hier die Standzeiten erheblich.

Bei den Seitenkippladern im Streckenvortrieb ergaben Messungen Laufzeiten von durchschnittlich 60 min je Abschlag. Dieser kurzzeitige Betrieb führt zu Betriebstemperaturen der Druckflüssigkeiten von höchstens 45 °C.

In Seitenkippladern werden die gleichen Zahnradpumpentypen wie in Vorzieheranlagen verwendet. Die Belastung der Pumpen in den Ladern ist mit 120 bar Betriebsdruck und hochfrequenten Druckschwankungen höher als bei Vorziehern, was eine kürzere Standzeit der Pumpen zur Folge hat. Dieser Umstand führt jedoch wegen der nur jeweils kurzen Einschaltdauer noch zu ausreichenden Betriebszeiten von 2 bis 3 Jahren.

Wegen der geringeren Kosten für Druckflüssigkeiten sowie für Dichtungen und für Schläuche werden bei den Lademaschinen Flüssigkeiten der Gruppe HSC denen der Gruppe HSD vorgezogen. In einigen Fällen wurden Kühler und Zusatztanks eingebaut, die eine Trennung des Getriebeöls von der Hydraulikflüssigkeit ermöglichen.

Bei den Kolbenstangenabdichtungen der doppelwirkenden Arbeitszylinder haben sich Dachmanschetten-Dichtsätze gegenüber Nutringabdichtungen besser bewährt.

Die Untersuchungsergebnisse und inzwischen vorliegenden Betriebserfahrungen zeigen, daß ein Betrieb der auf HS-Flüssigkeiten umgestellten Lademaschinen technisch möglich ist.

Weitere kontrollierte Betriebsversuche führten inzwischen zur Umstellung von Bergwerksmaschinen wie hydrostatische Antriebe von Blindschacht- und Seilbahnhäspeln, Vortriebs-, Gewinnungs- und Großlochbohrmaschinen mit hydrostatischem Antrieb, zum Beispiel Continuous Miner 3 JCM 5 der Ruhrthaler Maschinenfabrik Schwarz & Dyckerhoff KG, Streckenvortriebsmaschine System Paurat der Paurat GmbH, Schrämmaschinen mit EMM-P-Winden der Gebr. Eickhoff, Maschinenfabrik und Eisen gießerei mbH.

Eignung und Betriebsverhalten von hydraulischen Bauelementen

Aus Prüfstandsversuchen und aus dem praktischen Betrieb liegen Erfahrungen über die Eignung und das Betriebsverhalten von Verdrängerpumpen und -motoren, über Ventile, Filter und Dichtungen bei Betrieb mit schwerentflammbaren Druckflüssigkeiten vor.

Pumpen

Bei den Pumpen handelt es sich um verschiedene Bauarten von Axialkolben-, Drehflügel-, konzentrischen Sperrschieber- und Zahnradpumpen (Bild 3). Die Belastung der Pumpen im Dauer-versuch auf den Prüfständen wurde entsprechend den im Gruben-betrieb an hydrostatischen Vorziehern und Lademaschinen er-mittelten Lastkollektiven nachgebildet, wobei die intermittierende Belastung zwischen 80 und 140 bar schwankte.

Das Vorgehen bei der Umstellung von Bergwerksmaschinen erforderte — parallel zu Betriebsversuchen — auf den Prüfständen zunächst die bei Mineralölbetrieb in der Praxis am häufigsten verwendeten und bewährten Pumpenbauarten zu testen. Aufgabe der Versuche war in erster Linie, durch konstruktive Verbesserungen an geeigneten Pumpen ausreichende Standzeiten zu erreichen, wobei die schwärentflammbaren Druckflüssigkeiten zwar über-wacht und regelmäßig untersucht wurden, sonst aber als vor-gegebene Größe zu betrachten waren.

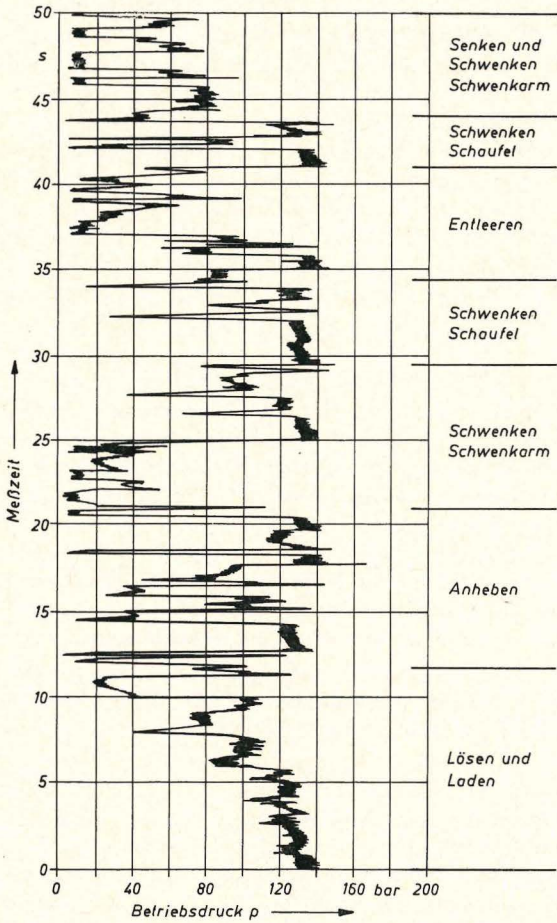


Bild 2. Der Druckverlauf im Hydrauliksystem eines Senkladers bei verschiedenen Arbeitsgängen.

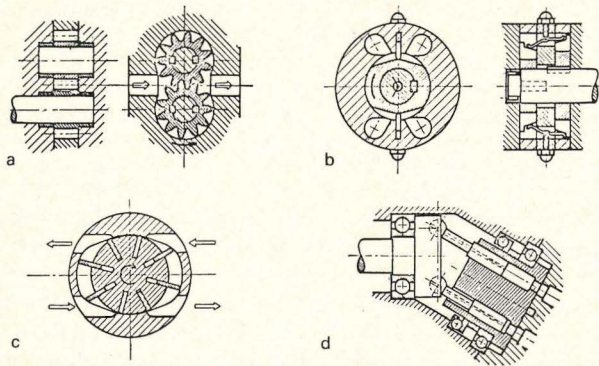


Bild 3. Schematische Darstellung von Zahnradpumpe (a), Konzentrischer Sperrschieberpumpe (b), Drehflügelpumpe (c) und Axialkolbenpumpe (d).

Die Wahl der Druckflüssigkeit fiel zunächst auf solche der Gruppe HSC. Nach Abschluß der Prüfstandsversuche stand fest, daß diese Pumpen bei Verwendung resistenter Dichtungswerkstoffe und geeigneter metallischer Werkstoffe auch mit HSD-Flüssigkeiten betrieben werden können und dabei die Lebensdauer oder die Druckbelastung allgemein höher liegt.

Insgesamt wurden 20 Pumpen im Dauerversuch auf den Prüfständen etwa 12 000 Stunden bei intermittierender Belastung getestet und weiterentwickelt. Wesentliche Erkenntnisse wurden in Versuchsreihen auf dem Prüfstand gewonnen mit der Untersuchung des Ansaugverhaltens selbstansaugender Verdränger-pumpen. Bei Betrieb mit schwerentflammaren Druckflüssigkeiten der Gruppen HSC und HSD ergeben sich auf Grund des gegen-über Mineralöl veränderten Viskositäts-Temperatur-Verhaltens bei niedrigen Temperaturen ungünstige Betriebsbedingungen.²

Weitere Untersuchungen befaßten sich mit der Anordnung und Auslegung von Filtern, Dichtungswerkstoffen und Dichtungs-konstruktionen. Hier zeigten sich noch Schwachstellen, die Gegenstand weiterer Entwicklungsarbeiten sein werden.

Filter

Der Auslegung von Filtern kommt auf Grund der Betriebsbedin-gungen im Bergbau und wegen der physikalischen Eigenschaften der Druckflüssigkeiten besondere Bedeutung zu. Saugfilter kommen infolge der vorliegenden Erfahrungen bei schwerent-flammbaren Druckflüssigkeiten nicht in Betracht. Siebe mit Maschenweiten über 200 μm werden dabei nicht zu den Filtern gezählt. Die Filtration der HS-Flüssigkeiten erfolgt deshalb in den Rücklaufleitungen, gegebenenfalls zusätzlich in den Druck-leitungen mit Vollstrom-, seltener mit Nebenstromfiltern. Alle bisher bekannten und in den Betrieben verwendeten Vollstromfilter haben nur eine sehr begrenzte Wirksamkeit bei feinsten Verunrei-nigungen. Die Schmutzaufnahmekapazität von Filtern kleiner Maschenweite wird bei den vom Hersteller angegebenen Durch-flußmengen und bei der im Bergbau häufig auftretenden hohen Flüssigkeitsverschmutzung sehr schnell erreicht. Deshalb müssen sehr oft unbefriedigende Lösungen in Kauf genommen werden. Filterfeinheiten von nominell 25 bis 60 μm Maschenweite sind heute in den Hydraulikanlagen unter Tage allgemein üblich; mit derartigen Filtern betragen die Verunreinigungen der Druck-flüssigkeiten bis zu 20 g/l. Filterfeinheiten unter 25 μm führen zu schnellem Zusetzen der Filterelemente bei den heute gebräuch-lichen Filterbauarten.

Unter Berücksichtigung dieser Nachteile bewährten sich aus-

schließlich Oberflächenfilter aus Metallgewebe in Siebmantel-, Siebstern- und Siebscheibenbauart, wobei den beiden letzteren der Vorzug zu geben ist, da sie bei gleichem Bauvolumen eine erheblich größere Oberfläche aufweisen. In Ausnahmefällen sind auch Filterelemente aus imprägniertem Papier oder aus Kunst-stofffaser eingeführt, sofern bestimmte Voraussetzungen, wie nicht quellende Werkstoffe, gegeben sind. Filterelemente aus Sinter-bronze werden wegen häufiger Betriebsstörungen durch Beschädi-gung der Elemente und aus Kostengründen kaum verwendet. Völlig unwirksam bei den im Bergbau auftretenden Verunreinigungen sind Spaltfilter ohne Nachschalten oben angeführter Filter.

Alle Vollstromfilter sollten mit einer Differenzdruckanzeige ver-sehen sein. Die Filterelemente sollten möglichst als Wegwerfele-ment ausgebildet sein. Wiederverwendbare Elemente dürfen nicht an staubgefährdeten Orten gereinigt werden. Bei der Auslegung von Vollstromfiltern für HS-Flüssigkeiten ist auf ausreichende Dimensionierung zu achten. Nach vorliegenden Erfahrungen sollte die vom Hersteller angegebene Durchflußmenge bei Betriebs-viskosität etwa den dreifachen Wert des tatsächlichen Volumen-stroms betragen.

Eine wirksame Filtration bieten nur Nebenstromfilter bei kleinen Durchflußmengen und großer Filterfläche. Für wasserfreie Druckflüssigkeiten können großvolumige Tiefenfilter der Firma Karberg & Hennemann nachweislich die Verunreinigungen auf weniger als 50 mg/l reduzieren. Die absolute Filterfeinheit beträgt hierbei 1 μm . Ein derartiges Filterelement kann bis zu 43 kg Schmutz aufnehmen.

Dichtungen und Schläuche

Die Auswahl und Verwendung resistenter Dichtungswerkstoffe bei der Umstellung hydraulisch betriebener Bergwerksmaschinen auf schwerentflammare Druckflüssigkeiten für den jeweiligen Einsatzfall bereitete teilweise große Schwierigkeiten. Unter-suchungen auf den Prüfständen und in den Betrieben beschäftigten sich überwiegend mit verschiedenen Dichtungskonstruktionen. Werkstoffuntersuchungen und Werkstoffauswahl wurden bei Fachinstituten und bei den Herstellern durchgeführt. Außerdem wurden Erfahrungen zwischen Herstellern und Anwendern in Fachkreisen diskutiert. Hochdruckschlauchleitungen wurden in diesem Zusammenhang nur von der Werkstoffauswahl ausgehend behandelt.

Dichtungswerkstoffe

Bei Betriebstemperaturen unter 60 °C mit wasserhaltigen Druck-flüssigkeiten der Gruppen HSA und HSC sind mit Ausnahme von Werkstoffen auf Urethan-Kautschuk-Basis (zum Beispiel Vulkolan) alle bisher bei Mineralölbetrieb verwendeten Werkstoffe auf der Basis von Butadien-Acrylnitril-Kautschuk (NBR zum Beispiel Perbunan) wegen seiner guten physikalischen Eigenschaften geeignet. Das Quellverhalten dieser Werkstoffe steigt jedoch bei höheren Temperaturen sehr schnell an, was besonders bei dyna-mischen Abdichtungen sehr nachteilige Auswirkungen hat.

Da es sich bei den im Bergbau zugelassenen Druckflüssigkeiten der Gruppe HSD ausschließlich um Mischungen aus chlorierten Kohlenwasserstoffen und Phosphorsäureester handelt, müssen hier als Dichtungswerkstoffe grundsätzlich Elastomere aus Fluor-Kautschuk (FPM zum Beispiel Viton) verwendet werden. Werk-stoffe aus Polytetrafluoräthylen (PTFE zum Beispiel Teflon) weisen zwar eine gute chemische Beständigkeit auf, sie sind jedoch wegen ihrer schlechten physikalischen Eigenschaften nur sehr bedingt einsetzbar (zum Beispiel als Stützringe zusammen mit Rund-dichtringen). Elastomere auf der Basis von Butyl- oder Silikon-Kautschuk sind nicht zu empfehlen.

² Reichel, J.: Das Ansaugverhalten schwerentflammbarer Druckflüssigkeiten und Mineralöle bei niedrigen Betriebstemperaturen, Kurznachr. Stbv. 1972 Nr. 84 S. 4.

Technologisches Verhalten schwerentflammbarer Druckflüssigkeiten

Die außerordentlich große Bedeutung von Druckflüssigkeiten für die Funktion hydraulischer Anlagen wird bei der Auslegung von Maschinen und bei der Wahl der Flüssigkeit oft nicht beachtet, zumindest aber unterschätzt. Von der Druckflüssigkeit werden ideale Eigenschaften gefordert, die mit möglichst wenig Aufwand an Kosten erreicht oder eingehalten werden sollen.

Vom Standpunkt der Brandsicherheit und der Flüssigkeitskosten sind Druckflüssigkeiten mit möglichst hohem Wassergehalt zu fordern. Genau entgegengesetzt dazu stehen die Anforderungen, die aus technologischer Sicht an die Druckflüssigkeit gestellt werden müssen. Die wesentlichen Nachteile des Wassers in Druckflüssigkeiten sind seine sehr mangelhaften Verschleißschutz Eigenschaften, seine niedrige Viskosität und die damit verbundenen großen Leckverluste sowie seine Korrosionswirkung auf Metalle, sein niedriger Siedepunkt und hoher Gefrierpunkt.

Die HSA-Flüssigkeiten werden immer vom Verbraucher selbst hergestellt. Druckflüssigkeiten der Gruppe HSC sind nur vom Hersteller zu beziehen; sie bestehen aus echten Lösungen von Glykolderivaten in Wasser. Zur Verbesserung des Verschleißschutzes, der Schaumdämpfung und des Korrosionsschutzes werden Zusätze zugegeben, die oft nur teilweise löslich sind und verschiedentlich zu Ausflockungen führen.

Alle wasserhaltigen Flüssigkeiten haben den Nachteil, daß sie ihre Eigenschaften während des Betriebs ändern und somit nicht wartungsfrei sind. Die Folge sind deshalb oft ungewöhnlich kurze Standzeiten der Hydraulikelemente und hohe Reparaturkosten.

Wasserfreie, synthetische Druckflüssigkeiten der Gruppe HSD ändern demgegenüber ihre physikalischen Eigenschaften während des Betriebs kaum. Das Verschleißschutzvermögen ist vergleichbar mit den Werten für niedriglegierte Mineralöle. Aus technologischer Sicht sind deshalb HSD-Flüssigkeiten für hydraulische Maschinen zur Leistungsübertragung besser geeignet als Druckflüssigkeiten der Gruppen HSA und HSC.

Druckflüssigkeiten der Gruppe HSA

Öl-in-Wasser-Emulsionen (Gruppe HSA), die hauptsächlich im hydraulischen Grubenausbau verwendet werden, fielen nicht unmittelbar in das Arbeitsprogramm, da diese hydrostatischen Einrichtungen bereits vor der allgemeinen Umstellungspflicht größtenteils mit derartigen schwerentflammbaren Medien betrieben wurden.

Druckflüssigkeiten der Gruppe HSC

Auf Grund wirtschaftlicher Erwägungen wurden in vielen Fällen hydrostatische Maschinen auf Betrieb mit HSC-Flüssigkeiten umgestellt. Die meisten Untersuchungen erfolgten dementsprechend auch mit diesem Flüssigkeitstyp. Unter konstanten Betriebsbedingungen und ohne störende äußere Einflüsse wurde für jede Versuchsreihe auf den Prüfständen neue Druckflüssigkeit bei Versuchsbeginn eingefüllt. Die Veränderung der technologischen Eigenschaften in bezug auf den Neuzustand der HSC-Flüssigkeiten und Auswirkungen auf die Versuchseinrichtungen waren hier zu beurteilen.

In diesem Zusammenhang sind die wesentlichen technologischen Eigenschaften: Viskosität, Dichte, Wassergehalt, wasserunlösliche Anteile, Verschleißschutzvermögen, Säurestufe (pH-Wert) und Alkalität. Die Untersuchung derartigen Eigenschaften und das Aussehen zur Beurteilung des Betriebsverhaltens sind bei Druckflüssigkeiten der Gruppe HSC nur dann sinnvoll, wenn bei der Probennahme sichergestellt ist, daß es sich um einen

repräsentativen Querschnitt der gesamten Flüssigkeitsmenge handelt. In den meisten Fällen wurden deshalb die Proben aus dem strömenden Medium bei Betriebstemperatur entnommen. Als Entnahmestelle diente ein Absperrorgan in der Druckleitung unmittelbar hinter der Pumpe.

Ein weiterer Gesichtspunkt ist die Gleichmäßigkeit der einzelnen Flüssigkeitslieferungen. Entsprechende Untersuchungen der Druckflüssigkeiten im Anlieferungszustand ließen hier Unterschiede besonders im Wassergehalt, im Aussehen und im Gehalt an wasserunlöslichen Anteilen erkennen. Bei der Untersuchung von Flüssigkeiten gleichen Typs und vom gleichen Hersteller wurden beispielsweise im Verlauf von vier Jahren Schwankungen im Wassergehalt zwischen 42,5 und 51,5%, in der Flüssigkeitsviskosität bei 50 °C — je nach Wassergehalt — 55 bzw. 40,5 cSt und im Gehalt an wasserunlöslichen Stoffen 80 bis 300 mg/l festgestellt. Die Beurteilung des Verschleißschutzvermögens nach der Methode mit dem Vier-Kugelapparat (Versuchsdauer: 1 h, Belastung 15 kp) ergab Verschleißkalottendurchmesser zwischen 0,65 und 0,98 mm. Das Aussehen der Flüssigkeit im Anlieferungszustand wurde von hellgelb-klar bis gelblich-trübe eingestuft.

Der Gehalt an wasserunlöslichen Stoffen im strömenden Medium war bei Beendigung der Prüfstandsversuche oft sehr unterschiedlich. Proben aus der Druckleitung enthielten bis zu 700 mg/l, Proben aus der Leckölleitung von Axialkolbenpumpen jedoch weniger als 100 mg/l. Der größte Anteil wasserunlöslicher Stoffe befand sich immer in Proben, die aus dem Flüssigkeitsbehälter der Prüfstände stammten. Er erreichte bis zu 1700 mg/l. An den Behälterinnenseiten lagerten sich darüber hinaus oft bereits nach 400 bis 600 Betriebsstunden unlösliche Rückstände ab, die ebenso wie die wasserunlöslichen Stoffe in den Flüssigkeitsproben aus den Behältern bis zu 73% Eisenverbindungen (Fe_2O_3) enthielten. Als Ursache für diese mit Rostbildung an den Innenflächen der Behälterdeckel verbundenen Erscheinungen wird der mit der Verringerung des Wassergehalts verbundene Verlust an flüchtigen Korrosionsschutzinhibitoren angesehen. Rückstände in den Filtern, die bereits nach 100 Stunden festgestellt wurden und auch an einem Ansaugsieb mit 2 mm Maschenweite abgelagert waren, enthielten die Elemente Kohlenstoff (rd. 54%), Wasserstoff (rd. 10%) und Stickstoff (rd. 0,3%). Die Säurestufe dieser seifigen Rückstände wurde mit einem pH-Wert von 9 angegeben.

Bei den Untersuchungen von Flüssigkeitsproben aus den Grubenbetrieben stellte sich eine wesentlich stärkere Verschmutzung der HSC-Flüssigkeiten als bei den Prüfstandsversuchen heraus. Die Verunreinigungen erreichten Höchstwerte von 20 g/l und waren die wesentlichste Ursache für häufige Pumpenschäden und geringe Pumpenstandzeiten.³ Die Untersuchung einer Flüssigkeitsprobe mit einem Anteil an wasserunlöslichen Stoffen von 20 g/l auf ihr Verschleißschutzvermögen nach der Methode mit dem Vier-Kugelapparat ergab einen Verschleißkalottendurchmesser von 0,73 mm. Im Anlieferungszustand weist die Flüssigkeit kaum andere Werte auf. Dieses Verfahren erscheint in diesem Zusammenhang nicht aussagefähig.

Bei Untersuchung der Filtrierbarkeit von HSC-Flüssigkeiten konnte mit den heute verwendeten und bekannten Filterbauarten keine Möglichkeit herausgefunden werden, um derartige Verunreinigungen durch Voll- oder Nebenstromfilterung aus dem Medium zu entfernen. Als unbefriedigende, aber zur Zeit wirksamste Lösung mußte deshalb den Betrieben empfohlen werden, die Flüssigkeitsverschmutzung häufig zu kontrollieren und gegebenenfalls die Druckflüssigkeit in kurzen Zeitabständen zu wechseln. Die Verschmutzung als Kriterium für einen Flüssigkeitswechsel war

³ Reichel, J.: Verschmutzung von HS-Flüssigkeiten. Kurznachr. Stbv. 1970 Nr. 80 S. 6.

bisher bei Mineralölbetrieb weniger bedeutend, da diese Medien wegen der geringeren Dichte ein weitaus besseres Schmutzabsetzvermögen besitzen.

Verunreinigungen der HSD-Flüssigkeiten mit Mineralöl beeinflussen das Benetzungs- und Verschleißschutzvermögen dieser Flüssigkeiten bereits bei einer Konzentration von 0,5%. Es konnten jedoch nur sehr selten Spuren von Mineralöl nachgewiesen werden.

Druckflüssigkeiten der Gruppe HSD

Als kritisch stellte sich bei HSD-Flüssigkeiten weniger die Eigenschaftsänderung dieser Flüssigkeiten während des Betriebs als vielmehr die richtige Auslegung der hydraulischen Anlagen heraus. Dazu mußte die Viskosität, die höhere Dichte und die Verträglichkeit mit Dichtungen und Schläuchen berücksichtigt werden. Das technologische Verhalten der Flüssigkeit änderte sich während des Betriebs nur in geringen Grenzen. Der Verschmutzungsgrad von HSD-Flüssigkeiten in hydrodynamischen Kuppelungen war nach sechsmonatigem Betrieb meist gering.

Untersuchungsergebnisse von Flüssigkeitsproben aus hydrostatischen Maschinen lassen wegen des größeren Flüssigkeitsvolumens und der günstigeren Kontrollmöglichkeit während des Betriebs das Verhalten der HSD-Flüssigkeiten besser erkennen. Die Verschmutzung dieser Flüssigkeiten — ermittelt als benzolunlösliche Anteile — liegt wesentlich niedriger als bei HSC-Flüssigkeiten. Während eines Zeitraums von 20 Monaten wurden aus dem Hydrauliksystem eines hydrostatischen Vorziehers 21 Proben entnommen. Vier Proben wiesen eine Verschmutzung von 6 bis 8 g/l auf, acht Proben 2 bis 4 g/l und neun Proben weniger als 2 g/l. Acht Proben aus verschiedenen Betriebseinsätzen hydrostatisch betriebener Schrämmaschinen lagen bis auf eine Ausnahme unter 1 g/l. Ein Gehalt an Mineralöl war in Proben aus umgestellten und überwachten Betriebseinsätzen in den HSD-Flüssigkeiten nicht nachweisbar. Bei der Untersuchung auf Wassergehalt konnten meist nur Spuren festgestellt werden. Dichte und Viskosität schwankten nur in sehr engen Grenzen. Alterungsbestandteile oder Ablagerungen aus den Flüssigkeiten wurden in keinem Fall festgestellt. Die HSD-Flüssigkeiten können durch Feinstfiltration im Nebenstrom sehr gut von festen Fremdstoffen gereinigt werden. Mineralölanteile lassen sich jedoch nicht wieder entfernen. Eine Aufbereitung und anschließende Wiederverwendung gebrauchter Druckflüssigkeiten ist bei den wasserfreien Produkten im Gegensatz zu den wasserhaltigen möglich.

Die wasserfreien, synthetischen Druckflüssigkeiten der Gruppe HSD sind in ihren guten technologischen Eigenschaften den wasserhaltigen Druckflüssigkeiten der Gruppen HSA und HSC überlegen und praktisch wartungsfrei.

HSD-Flüssigkeiten im Bergbau

Drei Kriterien muß unter dem Oberbegriff integrierter Arbeitsschutz bei der Verwendung von HSD-Flüssigkeiten Beachtung geschenkt werden: dem Brandschutz, dem Gesundheitsschutz und dem Umweltschutz. Während die Kriterien Brand- und Gesundheitsschutz in den Luxemburger Berichten bereits weitgehend definiert und eingehalten worden sind, erlangte der Gesichtspunkt Umweltschutz in letzter Zeit zunehmende Beachtung.

Brandschutz

Die Anforderungen und Versuchsmethoden sind im 4. Luxemburger Bericht erneut überarbeitet und mehr als bisher auf die praktische Nutzenanwendung im Grubenbetrieb abgestimmt worden. Die Sachverständigen im Ständigen Ausschuß für die Betriebssicherheit und den Gesundheitsschutz im Steinkohlenbergbau des westeuropäischen Kontinents sind der einstimmigen Meinung,

daß die derzeit bestehenden brandtechnischen Anforderungen einen optimalen Brandschutz bieten und auch in Zukunft als verbindlich anzusehen sind.

Gesundheitsschutz

Alle im Steinkohlenbergbau zugelassenen HSD-Flüssigkeiten fallen nicht in die Klassifikation der akut toxischen Arbeitsstoffe. Diese Frage wird bei jeder Prüfung beantwortet. Auch die viel diskutierten Polychlorierten Biphenyle (PCB) sind keine akut toxischen Arbeitsstoffe. Diese Aussage beruht auf großen experimentellen und praktischen Erfahrungen mit HSD-Flüssigkeiten im Bergbau.

Untersuchungen in der Praxis über die Konzentration von Aerosolen PCBhaltiger Hydraulikflüssigkeiten im Grubenbetrieb und medizinische Kriterien führten zur Erstellung einer Liste über die maximale Arbeitsplatz-Konzentration (MAK-Werte). Besonders wichtig bei der Beurteilung sind die in der Praxis auftretende maximale Konzentration dieser Aerosole und ihre zeitliche Dauer. Die zulässige höchste Belastung über eine Zeitdauer von acht Stunden liegt bei einer Konzentration von 1 mg/m³ (bei 42% Chlor in den PCBhaltigen Flüssigkeiten). Bei Einhalten dieses MAK-Wertes ist die Gefahr einer chronischen Toxizität eingeschränkt. Die Messungen unter Tage ergaben, daß der MAK-Wert nicht auftritt.

Umweltschutz

Umwelttoxikologische Eigenschaften infolge Speicherung der PCB in der maritimen Nahrungskette und auch im menschlichen Fettgewebe gewinnen zunehmend an Bedeutung. Polychlorierte Biphenyle einer bestimmten Klasse, das heißt vierfach und höher chlorierte Biphenyle, werden im Fettgewebe und in der Leber angereichert und nur schwer abgebaut. In Fachkreisen werden hauptsächlich zwei Meinungen mit derzeit sehr eingeschränkter Aussagekraft diskutiert: Einerseits ist man der Meinung, daß PCB im Organismus deponiert wird, und zum anderen, daß der Organismus diese Stoffe mit schädlichen Auswirkungen abbaut.

Empfehlungen in den USA, in Japan und in Schweden legen nahe, PCBhaltige Stoffe in offenen Systemen nicht mehr zu verwenden und beschränken deren Einsatz auf geschlossene Systeme, um zu vermeiden, daß PCB über das Wasser in den Naturkreislauf gelangt. Dies löste bei der Monsanto (Deutschland) GmbH die Einstellung der Produktion aller PCB aus, die zu über 98% in offenen Systemen verwendet werden. Weniger als 1% der Gesamtproduktion findet in Hydraulikanlagen und als Dielektrika Anwendung. Bei dem geringen Bedarf in geschlossenen Systemen scheint die Kapazität der Produktionsanlagen nicht ausgenutzt, was letztlich aus wirtschaftlichen Gründen zum Produktionsstopp der im Bergbau zugelassenen Pydraulsorten führte.

Seit einiger Zeit wurden vom Pharmakologischen Institut der Universität Hamburg umfangreiche Untersuchungen über die Abbaubarkeit von PCB im tierischen Gewebe durchgeführt und der Abbaumechanismus nachgewiesen. Die Analysen ergaben, daß tri- und dichlorierte Biphenyle nur in geringen Mengen gespeichert werden.

Alle bisher bekannten HSD-Flüssigkeiten sind Mischungen aus di-, tri-, tetra- und pentachlorierten Biphenylen. Es ergibt sich somit für die Zukunft ein Weg, umweltfreundliche HSD-Flüssigkeiten auf der Basis niedrigchlorierter Biphenyle zu verwenden, den die Bayer AG mit dem Produkt Elaol Vi für hydrodynamische Getriebe bereits eingeschlagen hat. Diese Firma bemüht sich zur Zeit auch um die Entwicklung eines Produkts für hydrostatische Anlagen auf der Basis niedrigchlorierter Biphenyle. Die technologischen Untersuchungen mit diesem Produkt werden bereits von der Hauptabteilung Technische Chemie des Rheinisch-West-

fälischen Technischen Überwachungs-Vereins e. V. durchgeführt. Dort ist man davon überzeugt, daß im Verlaufe des Jahres 1973 ein umweltfreundliches Produkt für den Bergbau zur Verfügung stehen wird. In der Übergangszeit ist die BP Benzin und Petroleum AG bereit, den Bedarf an Flüssigkeiten des Typs HSD 25 im Bergbau mit dem Produkt BP-Olex SF-D 0204 zu decken, das nach dem 4. Luxemburger Bericht zugelassen ist. Eine Erprobung in sechsmonatigen Betriebsversuchen und die technologischen Untersuchungen ergaben, daß diese HSD-Flüssigkeiten unter den bisher erforderlichen Bedingungen an Stelle von Pydraul 280 eingesetzt werden können. Reine Phosphatester werden aus brandtechnischen und aus hygienischen Gründen im bundesdeutschen Bergbau nicht zugelassen.

Schlußfolgerungen

Im Verlauf von fünf Jahren wurden durch systematische Untersuchungen die technischen Voraussetzungen zur Umstellung unter Tage vorhandener hydraulischer Anlagen, Einrichtungen und Geräte von Mineralöl auf schwerentflammbare Druck-

flüssigkeiten geschaffen. Aus den dadurch gesammelten Erfahrungen resultierten Hinweise und Empfehlungen für den Umgang mit Bergwerksmaschinen bei Verwendung von HS-Flüssigkeiten, die auch bei der Konstruktion neuer Maschinen Anwendung finden können.

Als besonders zweckmäßig zur Ermittlung von Lastkollektiven und Schwachstellen erwies sich die Kombination von kontrollierten Betriebsversuchen mit Untersuchungen auf den Prüfständen. Durch eine gute Zusammenarbeit zwischen Anwendern, Herstellern und Prüfinstituten konnte die Umstellung der am häufigsten verwendeten Maschinen erreicht werden. Zur Umstellung spezieller Maschinen mit kompliziertem Aufbau sind die technischen Voraussetzungen bekannt, die praktische Durchführung wirft hier in erster Linie organisatorische Probleme auf.

Die bisherigen Ergebnisse sind nicht in allen Fällen als beste Lösung des Umstellungsproblems anzusehen, zumal allgemein verbindliche Normen der Anforderungen und Prüfverfahren für schwerentflammbare Druckflüssigkeiten und die dafür erforderlichen Werkstoffe noch fehlen.

Technische Umschau

Methangasabsaugung im deutschen Steinkohlenbergbau im Jahre 1972

Die im Steinkohlenbergbau der Bundesrepublik abgesaugte Methanmenge stieg im Jahre 1972 um 3,8% auf 652 Mill. m³ und erreichte damit wiederum einen Höchststand.* Die wichtigsten Kennwerte der Grubengasabsaugung sind von der Forschungsstelle für Grubenbewetterung zusammengestellt worden, und zwar aufgeteilt nach den vier Steinkohlenrevieren (Tabelle).

Verwertet wurden 354 Mill. m³ CH₄, das sind 6,8% mehr als im Vorjahr. Die über Tage abgepackelte Gasmenge nahm um 3,6% ab, so daß der nicht verwertete Teil des abgesaugten Gases 45,7% erreichte.

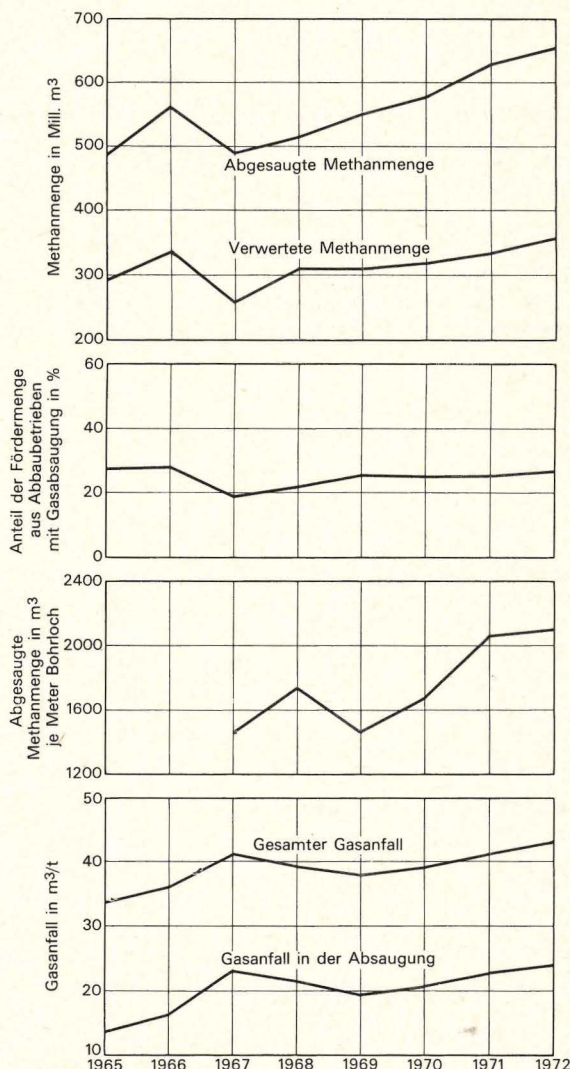
Im vergangenen Jahre wurden 4682 Bohrlöcher gebohrt, das sind 36 mehr als im Vorjahr. Die durchschnittliche Länge der Bohrlöcher erreichte mit 46,6 m nicht ganz den Wert der beiden Vorjahre. Die je Meter Bohrlöcher abgesaugte Gasmenge von 2098 m³ blieb gegenüber dem Vorjahr fast unverändert. Die Fördermenge aus Betrieben mit Gasabsaugung hat sich nicht verändert; ihr Anteil an der Gesamtfördermenge stieg auf 27% (Bild).

Ruhrrevier

Im Ruhrrevier nahm die Fördermenge aus Gasabsaugebetrieben um 5,5% zu. Es wurden rd. 381 Mill. m³ Methan, also 11% mehr Gas abgesaugt als im Vorjahr. Die unter Tage dem Wetterstrom zugesetzte Gasmenge stieg um 23% auf 48,6 Mill. m³. Trotzdem wurden 9% mehr Gas nach über Tage gefördert und rd. 164 Mill. m³ und damit 24% mehr verwertet als im Vorjahr. 1972 wurden im Ruhrrevier 187 oder 8% mehr Bohrlöcher erstellt als 1971.

Ibbenbürener Revier

Im Ibbenbürener Steinkohlenrevier nahm die abgesaugte Gasmenge um 29% zu. Die gesamte abgesaugte Gasmenge von rd. 43 Mill. m³ wurde nach über Tage geleitet. Da die Verwertung nur um 5% gesteigert werden konnte, mußten 35% der abgesaugten Gasmenge abgepackelt werden. Auch in diesem Revier steigerte sich die Bohrtätigkeit erheblich. Es wurden 38% mehr Bohrlöcher erstellt als 1971. Diese Steigerung war sehr erfolgreich, da die je Meter Bohrlöcher abgesaugte Gasmenge nur um 7% zurückging.



* Vgl. Treskow, A. von: Methangasabsaugung im deutschen Steinkohlenbergbau im Jahre 1971. Glückauf 108 (1972) S. 742/43.