

Daraus können die Ausfallwahrscheinlichkeiten je Jahr berechnet werden:

$$\text{Im 4. Jahr: } H(48) - H(36) = 0,8082 - 0,3657 = 0,4425$$

$$\text{Im 5. Jahr: } H(60) - H(48) = 1,3085 - 0,8082 = 0,5003$$

$$\text{Im 6. Jahr: } H(72) - H(60) = 1,8081 - 1,3085 = 0,4996$$

Durch Multiplikation mit der Zuführungsgröße (50 Stück) ergeben sich jetzt die in den einzelnen Jahren zu erwartenden Motorenwechsel:

$$\text{Im 4. Jahr: rd. 22}$$

$$\text{Im 5. Jahr: rd. 25}$$

$$\text{Im 6. Jahr: rd. 25}$$

Nach Durchrechnung weiterer jährlicher Zuführungen kann man sich eine Übersicht über die insgesamt benötigten Stückzahlen verschaffen.

Die Berechnung kann natürlich auch — falls erforderlich — quartalsweise erfolgen.

4. Zusammenfassung

Es wurde angegeben, wie das stetige Verfahren zur Ermittlung der erforderlichen Instandsetzungsleistungen angewendet werden kann. Dabei lassen sich drei mögliche Varianten unterscheiden unter Annahme normalverteilter Ausfälle:

— Ausgefallene fabrikneue Baugruppen werden durch fabrikneue ersetzt.

— Ausgefallene fabrikneue Baugruppen werden durch instand gesetzte ersetzt

$$(\mu_{\text{neu}} \neq \mu_{\text{inst.}}, \sigma_{\text{neu}} \geq \sigma_{\text{inst.}})$$

— Wie Fall 2, aber ausgefallene instand gesetzte Baugruppen werden durch instand gesetzte Baugruppen mit einer anderen mittleren Grenznutzungsdauer ersetzt

$$(\mu_{\text{inst. 1}} \neq \mu_{\text{inst. 2}} \neq \mu_{\text{neu}};$$

$$\sigma_{\text{inst. 1}} \geq \sigma_{\text{inst. 2}} \geq \sigma_{\text{neu}})$$

Weiterhin wurde die Anwendung des stetigen Verfahrens an einem praktischen Beispiel demonstriert.

Literatur

- /1/ Eichler, Chr./W. Schiroslawski: Zur Planung des Bedarfs an instand gesetzten Baugruppen. Dt. Agrartechnik 22 (1972) H. 9, S. 408—412.
- /2/ Gnedenko, B. W. u. a.: Mathematische Methoden der Zuverlässigkeitstheorie. Berlin: Akademieverlag 1968.
- /3/ Churchmann, G. W./R. L. Ackoff/E. L. Arnoff: Operations Research — Eine Einführung in die Unternehmensforschung. Berlin: Verlag Die Wirtschaft 1968.
- /4/ Eichler, Chr.: Grundlagen der Instandhaltung am Beispiel landtechnischer Arbeitsmittel. Berlin: VEB Verlag Technik 1973.
- /5/ Schiroslawski, W.: Anwenden von Verteilungsfunktionen zum Beschreiben des Schädigungsverhaltens landtechnischer Arbeitsmittel. Dt. Agrartechnik 20 (1970) H. 11, S. 506—510.
- /6/ Schiroslawski, W.: Methoden zum Bestimmen der mittleren Grenznutzungsdauer aus Kurzzeituntersuchungen. Forschungsbericht VVB Landtechnische Instandsetzung, VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal (unveröffentlicht).
- /7/ Storm: Wahrscheinlichkeitsrechnung, mathematische Statistik und statistische Qualitätskontrolle. Leipzig: Fachbuchverlag 1972.
- /8/ Bormann, K.-D.: Forschungsbericht der Ingenieurschule für Landtechnik Friesack (unveröffentlicht). A 9728

Das galvanische Auftragen von Eisen und seine Anwendungsmöglichkeiten für die landtechnische Instandsetzung¹

Dipl.-Ing. M. Gegner

VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal, Betrieb des VEB WTZ Spezialisierte Landtechnische Instandsetzung, Neuenhagen

Die Aufgabe unserer VVB als ein wichtiger Bereich im Komplex der Instandsetzung der energetischen Basis der Genossenschaften bzw. der Kooperativen Abteilungen Pflanzenproduktion besteht darin, die Traktoren mit möglichst geringen Kosten und Aufwand an lebendiger Arbeit instand zu setzen.

Ein wesentlicher Faktor für Kosten und Qualität der Instandsetzungsleistungen ist die Aufarbeitung von Einzelteilen. In den sozialistischen Ländern, insbesondere in der Sowjetunion, sind in den letzten Jahren erhebliche Anstrengungen unternommen worden, um das Sortiment der Aufarbeitungsteile zu erweitern, die Verfahrenskosten zu senken und die Qualität der Aufarbeitung zu verbessern.

Bei dieser Weiterentwicklung hat sich das galvanische Auftragen von Eisen als ein Verfahren herausgestellt, das für eine große Palette von Einzelteilen den umfangreichen Anforderungen der Praxis gerecht wird.

1. Galvanische Verfahren

Beim galvanischen Auftragen von Eisen wird ähnlich dem Verchromen in einer Elektrolysezelle durch den Stromfluß eine gesteuerte Abscheidung von Metall erreicht. Dazu befinden sich in einem Bad (Bild 1) voneinander isoliert die Katoden und Anoden. Als Katode werden in das Bad die mit Eisen aufzutragenden Teile eingehängt und an den Minuspol einer Gleichstromquelle angeschlossen. Durch das Kraftfeld, das zwischen Anode und Katode wirkt, wandern die disso-

zierten, d. h., die gelösten und elektrisch geladenen Eisenionen, zur Katode. Da das verschlissene Einzelteil diese Katode darstellt, wandern sie zu den Verschleißstellen des Einzelteils. Beim Auftreffen auf das Teil werden die Eisenionen entladen und bilden eine Metallschicht. Die nicht verschlissenen Flächen werden isoliert. Das dem Eisenelektrolyt ent-

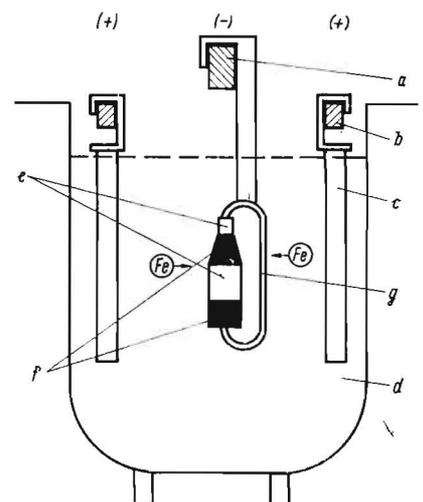


Bild 1. Grundsätzlicher Aufbau eines Elektrolysebades.
a Katodenschiene, b Anodenschiene, c Eisenanode, d Elektrolyt, e aufzutragende Flächen, f isolierte Flächen des Verschleißteils, g isoliertes Gestell

¹ Überarbeitete Fassung eines Referats zur 5. Wissenschaftlich-technischen Tagung „Landtechnisches Instandhaltungswesen“ der Wissenschaftlichen Sektion „Erhaltung landtechnischer Arbeitsmittel“ der KDT am 4. und 5. Dezember 1974 in Neubrandenburg

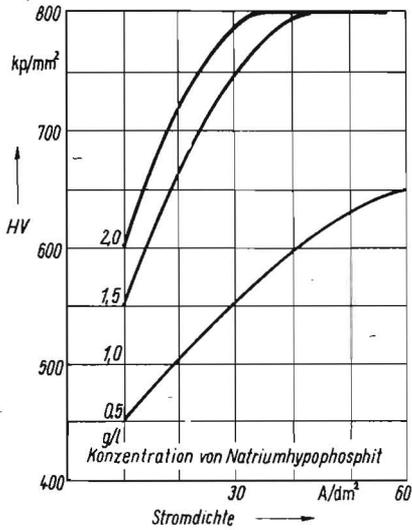


Bild 2
Einfluß von
Stromdichte und
Natriumhypo-
phosphit auf die
Härte (Unterlagen
von GOSNITI)

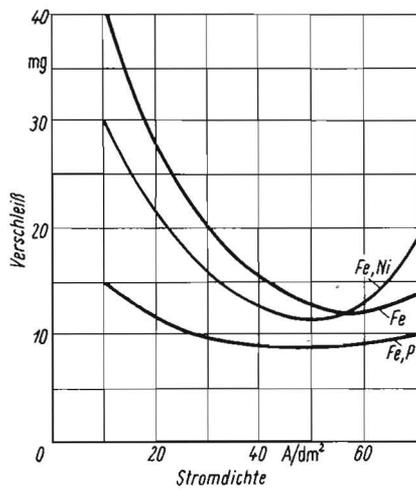
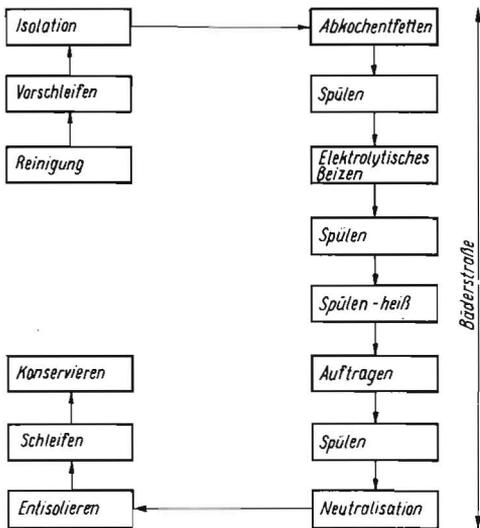


Bild 3
Einfluß der
Stromdichte und
der Badzusätze auf
den Verschleiß

Bild 4
Technologischer
Ablauf



zogene Eisen wird durch die sich auflösenden Eisenanoden wieder ergänzt. Entsprechend den Bestandteilen an Metallen im Elektrolyten werden reine Eisenschichten bzw. Eisen im Komplex mit anderen Metallen abgeschieden. Schon reine Eisenschichten ergeben hohe Härtewerte gegenüber metallurgisch gewonnenem Eisen gleicher Zusammensetzung. Dies ist eine grundsätzliche Eigenart galvanisch abgeschiedener Me-

tallschichten. Die sehr guten Gebrauchseigenschaften des bekannten galvanisch abgeschiedenen Chroms sind auch darauf zurückzuführen. Verantwortlich für die Härte und andere Eigenschaften ist der sehr umfangreiche und nur komplex betrachtbare Abscheidungsmechanismus der Metallionen an der Schichtoberfläche. Er führt im Endeffekt zu einer Schicht mit inneren Spannungen durch Fehlstellen und Versetzungen im Atomgitter. Dieser Abscheidungsmechanismus ist durch eine Reihe von Möglichkeiten zu beeinflussen. Die wichtigsten sind:

- Elektrolytzusammensetzung
- Badtemperatur
- Stromdichte an der Kathode [A/dm²]

Hierzu vermitteln die Bilder 2 und 3 einige prinzipielle Beispiele. Bild 2 zeigt deutlich den Härteanstieg bei schon geringen Mengen bestimmter Zusätze, in diesem Fall von Natriumhypophosphit sowie den Einfluß der Stromdichte. Bild 3 zeigt den Verlauf des Verschleißverhaltens reiner Eisenschichten in Abhängigkeit von der Stromdichte sowie den Verlauf bei Eisen-Nickel-, Eisen-Phosphor- und Eisen-Nickel-Phosphor-Schichten. Für die praktische Anwendung in der industriemäßigen Produktion wird man bestrebt sein, ein optimales Ergebnis zu erreichen und nur wenige Parameter zu variieren.

2. Technologie

Beim Studium der sowjetischen und polnischen Literatur und bei Dienstreisen wurden in den Jahren 1968 bis 1971 wertvolle Erfahrungen gesammelt und übernommen. Im Versuchslabor des PVB wurden Elektrolyte untersucht, Technologien erarbeitet sowie Teile aufgearbeitet und anschließend erprobt. Nach der Vorlage positiver Ergebnisse der Praxiserprobung der Teile wurde das Verfahren durch den Aufbau einer industriell arbeitenden Anlage im LIW Parchim in die Produktion übergeführt. Der verwendete Elektrolyt hat folgende Zusammensetzung und Arbeitsparameter:

Eisenchloridgehalt ($\text{FeCl}_2 \times 11_2\text{O}$)	250 ... 350 g/l
Salzsäure HCl	2 g/l
pH-Wert	1,0
Temperatur	40 ... 80 °C
Stromdichte	30 ... 40 A/dm ²

Das Entscheidende bei diesem Elektrolyten ist, daß er eine hohe Abscheidungsgeschwindigkeit besitzt und in einem großen Bereich unempfindlich gegenüber Änderungen der Zusammensetzung ist. Bei ständiger Arbeit bleibt er bei nur geringem Pflegeaufwand über längere Zeiträume, ja sogar Jahre, arbeitsfähig. Dies sind entscheidende Faktoren für die Anwendung des Verfahrens zur Aufarbeitung von Einzelteilen. Die Eisenabscheidung als solche ist für spezielle Zwecke in der Galvanotechnik schon lange bekannt.

Zur Aufarbeitung eines verschlissenen Einzelteils sind folgende Arbeitsgänge nötig (Bild 4):

- Reinigung der Teile in den betrieblichen Maschinenwäschen
- Vorschleifen zum Beseitigen der Verschleißspuren und zum Erhalt glatter Oberflächen
- Isolation der nicht aufzutragenden Flächen durch Farbe, Lack, Plastebänder, Plastekappen usw.
- Abkochen/fetten bei 90 °C in alkalischen Lösungen, entfernt die letzten Ölfilme
- Spülen, damit keine Bestandteile des Lösungsmittels verschleppt werden
- elektrolytisches Beizen zum Aufrauen der Oberflächenstruktur
- Spülen

- heiß Spülen, um große Teile auf die Temperatur im Auftragsbad zu bringen
- Auftragen im Eisenchloridelektrolyten
- Spülen
- Neutralisieren in alkalischer Lösung
- Entisolieren
- Schleifen auf das notwendige Maß
- Konservierung bei längerer Lagerung

Die Prozesse vom Abkochenfetten bis zum Neutralisieren laufen in einer Behälterstraße ab. Hierbei sind nur die Überprüfungsarbeiten von Bad zu Bad sowie Einstell- und Konservierungsarbeiten erforderlich.

3. Vor- und Nachteile des Verfahrens

Aufgrund der Besonderheiten der galvanischen Verfahren und der Abscheidungsbedingungen des Eisens ergeben sich eine Reihe von verfahrensspezifischen Vorteilen.

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf den in der Praxis bewährten Eisen-II-Chloridelektrolyten.

- Das Verfahren ermöglicht die Auftragung von beliebigen Schichtdicken im Bereich von 0 bis 1,0 mm. Neuere Untersuchungen sagen aus, daß bei 90 Prozent aller Einzelteile in der modernen Landtechnik der Verschleiß weniger als 0,3 mm beträgt. Hierin liegen natürlich Vorteile der galvanischen Verfahren, weil insbesondere geringe Schichtdicken erreichbar sind. Die Kosten der galvanischen Bearbeitung sinken fast proportional mit geringer werdender Schichtdicke. Schichtdicken über 1 mm sind zur Zeit nur möglich, wenn zwischendurch die Schicht wieder glattgeschliffen wird. In Zukunft werden Schichtdicken über 1 mm ohne Zwischenschleifen möglich sein.
- Das galvanische Auftragen von Eisen gestattet eine Variierung der Härte der aufgetragenen Schicht im Bereich von 150 bis 700 HV, ja sogar bis 800 HV. Über einen großen Bereich ist die Härte durch technologische Parameter beeinflussbar, hierbei insbesondere durch die Stromdichte und die Elektrolyttemperatur. Extreme Härtewerte über 600 HV erfordern Badezusätze. Eine Zugabe von 2 g/l Natriumphosphat ermöglicht schon das Erreichen der maximalen Härte von 800 HV. Damit ist die Härte wesentlich größer als die mit dem CO₂-Auftragsschweißen erreichbare.
- Die galvanisch aufgetragene Eisenschicht besitzt gute Verschleißigenschaften. Diese Verschleißigenschaften könnte man etwa gleichsetzen mit denen vom St 50 (induktionsgehärtet). Mit einer Plasteschicht versehene oder aufgeschweißte Teile erreichen diesen Verschleißwiderstand in der Regel nicht, wobei die mit Platten aufgearbeiteten Teile außerdem thermisch nicht belastet werden dürfen. Die galvanische Schicht ist mit einem Rissnetz durchzogen. In ihm lagert sich Öl ein. Die Schicht besitzt dadurch gute Notlaufeigenschaften. Dieser Effekt läßt sich durch spezielle Methoden noch steigern.
- Beim galvanischen Prozeß wird der Werkstoff keiner Wärmebeeinflussung unterzogen. Dies wirkt sich positiv auf die Dauerfestigkeit gegenüber aufgeschweißten Teilen aus.
- Die Auftragsgeschwindigkeit beträgt 0,2 bis 0,3 mm/h. Das bedeutet gegenüber dem Verchromen eine fast 8mal größere Auftragsleistung. Die Teile befinden sich dadurch nur zwischen ein bis drei Stunden im Bad. Außerdem sind derart große Schichtdicken beim Verchromen nicht möglich.
- Der Elektrolyt ist billig. Er besteht im einfachsten Fall nur aus Eisen und Salzsäure, die für diese Zwecke im Inland ausreichend vorhanden sind. Für die sich auflösenden Anoden wird handelsübliches kohlenstoffarmes Eisen verwendet.

- Bei einer entsprechend großen Stückzahl ist eine Mechanisierung oder auch Automatisierung der Produktion möglich.
- Bei mit Eisen aufgetragenen Teilen muß mit einer Senkung der Dauerfestigkeit von 10 bis 20 Prozent gerechnet werden. Diese Senkung wird durch das Rissnetz hervorgerufen und muß bei entsprechend hochbeanspruchten Teilen berücksichtigt werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die „Galvanische Eisenauftragung“ gegenüber dem derzeitigen Stand der Einzelteilaufarbeitung eine Möglichkeit zur Qualitätsverbesserung, zur Effektivitätssteigerung und zur Sortimentserweiterung darstellt. Zu den positiven technischen Merkmalen des Verfahrens kommen auch noch gute ökonomische Parameter. Aufgrund der hohen Auftragsleistung, der Möglichkeit der Mechanisierung und der Verwendung von billigen Grundwerkstoffen ist oft ein großer ökonomischer Nutzen vorhanden.

4. Anwendungsmöglichkeiten

Das Auftragen von Eisen wird gegenwärtig zur Aufarbeitung rotationssymmetrischer Teile verwendet. Die maximalen Abmessungen der Teile richten sich nach der Größe der Bäder. Das Verfahren eignet sich für Gleit- und Festlagersitze sowie für Dichtringlaufflächen. Nicht geeignet ist es zur Aufarbeitung verschlissener Keilnuten, Zahnräder, Paßfedernuten, Keilwellenprofile und ähnlichem.

Es können vier Anwendungsgebiete abgegrenzt werden:

- Erweiterung des Aufarbeitungssortiments, insbesondere durch solche Teile, die kompliziert gestaltet sind und deshalb keinen Verzug erleiden dürfen und bei denen durch Auftragen von Platten nicht die erforderliche Härte oder Wärmebeständigkeit erreicht wird.
- Zur Qualitätsverbesserung von Teilen, die bisher durch CO₂-Auftragsschweißen oder durch Auftrag von Platten instand gesetzt wurden.
- Mehrmalige Aufarbeitung von Lenkungsteilen, die nach dem dritten Aufschweißen ausgedornt werden müßten.
- Ersatz des teuren Verchromens. Hierbei muß der Verwendungszweck beachtet werden, denn elektrolytisches Eisen rostet.

Das Verfahren bietet darüber hinaus noch weitere spezielle Anwendungsmöglichkeiten:

- Innenauftragung bei Lagerhohrungen an Getriebegehäusen, Grundbohrungen des Motorblocks, Pleuelbohrungen
- Auftragen von Schichten mit extremen Notlaufeigenschaften
- Auftragen von Eisen auf Verschleißstellen von Aluminiumteilen
- Auftragen von rostfreien Eisen-Chromschichten.

Diese Möglichkeiten sind in der Sowjetunion labormäßig erprobt und zum Teil in die Praxis eingeführt.

Im LKW Parchim wurde nach dem Vorliegen positiver Erprobungsergebnisse innerhalb von 18 Monaten eine industriemäßig produzierende Anlage aufgebaut und bis zur Serienreife erprobt. Mit der Lösung dieser Aufgabe wurde ein Beitrag zu der vom VIII. Parteitag geforderten schnellen Überführung von Forschungsergebnissen in die Praxis geleistet.

Was sind die zukünftigen Aufgaben? Unter dem Gesichtspunkt des Nutzens für den Wirtschaftsbereich gilt es, das Sortiment zu erweitern, insbesondere durch die Verbesserung der Haftfestigkeit auf stark legierten Werkstoffen. Der zweite Aufgabenkomplex ist die Leistungssteigerung des Verfahrens, um mit möglichst wenig Aufwand an Arbeitskräften und Anlagen ein großes Sortiment galvanisch aufzuarbeiten. Aus dieser Aufgabenstellung heraus macht es sich erforderlich, in Zukunft die Anwendung von Wechsel- und Impulsströmen zu erforschen und anzuwenden. Mit ihnen sind Auftragsgeschwindigkeiten bis 1 mm je Stunde möglich. Diese Aufgaben werden wir in enger Kooperation mit der Sowjetunion und der VR Bulgarien lösen. (Fortsetzung auf Seite 605)

Praktische Verwirklichung des industriellen Verstählens im LIW Parchim¹

Ing. H. Macioszek, KDT, Direktor des LIW Parchim

In Verwirklichung der Beschlüsse des VIII. Parteitages der SED haben wir uns unter anderem mit Problemen der Materialökonomie in der landtechnischen Instandsetzung befaßt und nach neuen Verfahren zur Aufarbeitung verschlissener Einzelteile geforscht.

In unserem Werk werden insbesondere Lenkaggregat für Traktoren instand gesetzt, bei denen außerordentliche Sicherheiten für den Benutzer zu fordern sind. Darüber hinaus stellt die Straßenverkehrszulassungsordnung an instand gesetzte Lenkungsteile besondere Forderungen.

Neben dem Einsatz neuer Ersatzteile wird der Wiederverwendung verschlissener Einzelteile nach Aufarbeitung besondere Bedeutung heimgemessen.

Die gegenwärtig angewendeten Aufbereitungsverfahren für Lenkungsteile, wie CO₂-Schweißen, Auftragen von Polymerisationsstoffen, Metallspritzen u. a., sind mit ökonomischen und qualitativen Mängeln behaftet, die die Einführung neuer Verfahren förmlich herausfordern.

Aufbauend auf Erfahrungen der Sowjetunion und der Volksrepublik Polen haben wir in gemeinsamer jahrelanger Forschungsarbeit mit dem Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal das Verfahren der elektrolytischen Eisenabscheidung (Verstählen) für die Aufarbeitung verschlissener Einzelteile untersucht und sind zu ausgezeichneten technisch-technologischen, qualitativen und ökonomischen Ergebnissen gelangt. Aus den gewonnenen Erkenntnissen reifte der Entschluß, dieses Verfahren vom Versuchsstadium in die Praxis überzuleiten.

1. Aufbau der Anlage

Unter Ausnutzung einer vorhandenen Bauhülle sind zwei Räume für das Verstählen ausgebaut worden, und zwar:

- ein Geräte- und Chemikalienraum (Bild 1)
- ein Raum für die Vor- und Nachbehandlung der Teile sowie für das Verstählen (Bild 2)

Der Geräte- und Chemikalienraum hat eine Grundfläche von 36 m² und einen Rauminhalt von 143 m³.

Hier sind untergebracht:

- 2 Wasserdestillationsanlagen
- 2 ferngesteuerte Gleichrichter mit je 1000 A, 12 V

¹ Überarbeitete Fassung eines Referats zur 5. Wissenschaftlich-technischen Tagung „Landtechnisches Instandhaltungswesen“ der Wissenschaftlichen Sektion „Erhaltung landtechnischer Arbeitsmittel“ der KDT am 4. und 5. Dezember 1974 in Neubrandenburg

(Fortsetzung von Seite 604)

Literatur

- 1/ Melkov, M. P.: Hartes Verstählen von Auto- und Traktorteilen. Isd. Transport Moskva 1971 (0 405 □ PVB Charlottenthal).
- 2/ Vystrelkov, I. N./V. D. Andreev: Empfehlungen zur Instandsetzung von Traktoren, Kraftfahrzeugen und Landmaschinen durch Verstählen und Verchromen. Sojuzsel'choztechnika, Moskva 1969 (0 304 □ PVB Charlottenthal).
- 3/ Hübner, H./M. Gegner: Erprobung der Anlage und Erarbeitung der technischen Unterlagen. PVB Charlottenthal, Abschlußbericht 1973 (unveröffentlicht).
- 4/ Gegner, M./H. Hübner: Galvanisches Eisenauftragen. PVB Charlottenthal, Studie 1974 (unveröffentlicht). A 9716

2 Plastbehälter mit je 1,9 m³ Volumen für die Neutralisation der Abwässer

Regale für Chemikalien und 1 Laborarbeitsstisch

Der Raum für die Vor- und Nachbehandlung der Teile sowie für das Verstählen hat eine Grundfläche von 76 m² bei einem Rauminhalt von 305 m³. Hier sind untergebracht:

- 2 Verstählungsapparate
 - 1 Heißspülapparat
 - 1 Beizapparat
 - 1 Gegenstromkaltspülapparat
 - 1 Abkoch- und Neutralisationsapparat
 - 1 Filteranlage, Werkbänke für die Isolation und Entisolation
 - 1 Aufzug mit Fahrschiene sowie Be- und Entlüftung
- Der Investitionsaufwand betrug 80 700 M.

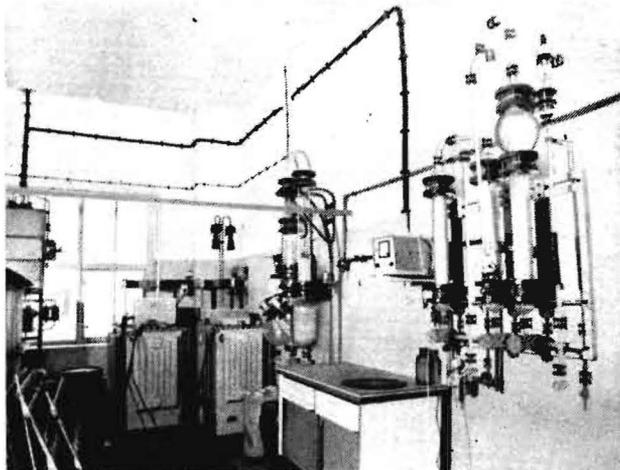


Bild 1. Geräte- und Chemikalienraum für das Verstählen im LIW Parchim

Bild 2. Raum für die Vor- und Nachbehandlung der Teile sowie für das Verstählen

