

# Korrosion und Korrosionsschutz von Geräten und Maschinen in der Landwirtschaft

Von Wilhelm Wiederholt, Berlin

DK 620.197:631.3

Die Ursachen der Korrosion und ihre Erscheinungsformen sind insbesondere in der Landwirtschaft sehr vielfältig und unterschiedlich, so daß sich schon aus diesem Grunde generelle Schutzverfahren ausschließen. Solche Korrosions-Ursachen können atmosphärisch bedingt sein (Regen, Nebel, Kondenswasser usw.); die Zusammensetzung des Erdbodens, der zum großen Teil aggressive Stoffe enthalten kann, ändert sich oft auf kurzen Strecken; dazukommen die Einflüsse von Düngemitteln und Pestiziden, sowie von organischen Substanzen (z.B. Dünger). So kann eine solche Zusammenstellung, wie sie hier gegeben wird, nur einen Überblick bis zu einer bestimmten Wissenstiefe geben.

Der Korrosionsschutz beginnt bereits bei der Werkstoffauswahl, bei der die zu erwartenden chemischen und mechanischen Beanspruchungen beachtet werden müssen. Der Verbraucher muß bei der Bestellung die zu erwartenden chemischen und mechanischen Beanspruchungen möglichst genau kennzeichnen. In jedem Falle ist ein Erfahrungsaustausch zwischen Hersteller und Verbraucher über Korrosionsschutzprobleme erwünscht; hierfür ist es wichtig, daß auch der Verbraucher die maßgebenden Faktoren der Korrosionsbedingungen kennt. Ferner sollte er einen Überblick über die in Frage kommenden Werkstoffe und ihre Schutzmöglichkeiten in Beziehung zu den jeweiligen Beanspruchungsbedingungen haben.

## 1. Einführung

Die Fortschritte in der Technik, die Notwendigkeit der Rationalisierung der Arbeitsverfahren und der Mangel an Arbeitskräften bedingen auch in der Landwirtschaft den ständig zunehmenden Einsatz von Maschinen, Geräten, Werkzeugen und Zubehör. Diese Entwicklung ist nur sinnvoll, wenn die Teile möglichst lange gebraucht werden können. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen die Werkstoffe genügend korrosionsbeständig sein, oder sie müssen sich vor der ungewollten Zerstörung durch Korrosion oder/und Erosion gut schützen lassen.

Hierbei ist zu beachten, daß u.a. zur Ertragssteigerung Düngemittel und zur Bekämpfung von pflanzlichen bzw. tierischen Schädlingen Chemikalien eingesetzt werden, die die natürlichen Korrosionsbeanspruchungen zusätzlich mehr oder weniger stark beeinflussen. Chemiker, Konstrukteure und Landwirte müssen somit die verschiedenartigen chemischen und mechanischen Beanspruchungen so beurteilen, daß optimale Bedingungen für die Schadensverhütung und für den möglichst langen Gebrauch der Teile – gegebenenfalls durch den Einsatz eines zweckentsprechenden Korrosionsschutzes – vorhanden sind.

Bei dem Umfang dieses Gebietes sollen nachfolgend nur die chemischen Beanspruchungen berücksichtigt werden. Nach einem Überblick über die Ursachen der Korrosion werden hieraus die Möglichkeiten für Korrosionsschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft abgeleitet.

Ganz allgemein gilt auch für das Gebiet der Landwirtschaft, daß bei Korrosionsvorgängen der jeweilig verwendete Werkstoff mit seiner Umwelt – z.B. der Atmosphäre, dem Wasser, dem Erdreich – unter vielfach nicht zu übersehenden und zu steuernden Bedingungen reagiert. Somit kann die Lebensdauer von landwirtschaftlichen Maschinen oder dgl. bereits durch zweckentsprechende Auswahl und Bearbeitung der Werkstoffe sowie durch sachgemäße Konstruktion von Maschinen und Apparaten unter Beachtung der korrodierenden Wirkung des angreifenden Mittels verlängert werden.

Die Beeinflussung der Umweltbedingungen selber zur Korrosionsverhütung oder -verminderung ist auf diesem Gebiete nur in Sonderfällen möglich, da die Korrosionsmittel durch die natürlichen Verhältnisse gegeben oder sonst zweckgebunden sind.

Langdauernde und gut wirksame Korrosionsschutzverfahren sind jedoch dadurch möglich, daß man Werkstoff und Korrosionsmittel durch eine chemisch isolierend wirkende Schicht trennt. Die Abwehr des chemischen bzw. elektrochemischen Angriffs wird von der Trennschicht übernommen. Voraussetzung hierbei ist, daß die Schicht den jeweiligen chemischen Beanspruchungen gut widersteht und daß sie auf dem Trägerwerkstoff porenfrei fest haftet. Zur Erfüllung dieser Forderungen kann eine zweckentsprechende Vorbehandlung der Oberfläche des Trägerwerkstoffes wesentlich beitragen. In Sonderfällen werden zur Erhöhung der Schutzwirkung mehrere gleichartige oder auch verschiedenartige und stofffremde Schichten nach dem sog. „Duplexverfahren“ aufgebracht: so wird z.B. Stahl zunächst feuerverzinkt, dann grundiert und schließlich mit Grund- und Deckanstrichen versehen.

---

*Oberregierungsrat a.D. Dr. phil. Wilhelm Wiederholt ist seit 1922 auf dem Gebiet des Korrosionsschutzes tätig; er war zuletzt Leiter der Fachgruppe „Korrosion und Korrosionsschutz“ in der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM), Berlin-Dahlem.*

## 2. Die speziellen Korrosionsmittel

### 2.1. Die Atmosphäre

Praktisch sind alle Teile, die in der Landwirtschaft verwendet werden, den Einwirkungen der Atmosphäre ausgesetzt. Weitverbreitet ist die Ansicht, daß Landluft im Vergleich zu anderen Luftarten die geringste Korrosion verursacht. Dies wird durch Tafel 1 belegt, auf der die Korrosionsgeschwindigkeiten der wichtigsten Überzugsmetalle in  $\mu\text{m/a}$  in den verschiedenartigen Luftarten nach DIN 50960, Beiblatt 1 verzeichnet sind.

Tafel 1. Atmosphärische Korrosion verschiedener Metalle in Mittel- und West-Europa nach DIN 50960, Beibl. 1.

Metall	Korrosionsgeschwindigkeit in $\mu\text{m/a}$ in:			
	Landluft	Stadtluft	Industrieluft	Meeresluft
Blei	0,7 bis 1,4	1,3 bis 2,0	1,8 bis 3,7	1,8
Kupfer	1,9	1,5 bis 2,9	3,2 bis 4,0	3,8
Nickel	1,1	2,4	4,0 bis 5,8	2,8
Zink	1,0 bis 3,4	1,0 bis 6,0	3,8 bis 19	2,4 bis 15
Stahl	4 bis 60	30 bis 70	40 bis 160	64 bis 230

Die angegebenen Zahlen sind jedoch nur grobe Richtwerte, denn bei der atmosphärischen Korrosion sind neben der chemischen Zusammensetzung der Luft, ihrem Gehalt an Feuchtigkeit und ihren Temperaturschwankungen u.a. noch die Einwirkungen von Wärme, Licht, ultravioletem oder radioaktiven Strahlen, zu beachten [1; 2]. Im allgemeinen ist in Innenräumen mit trockener Luft keine Korrosion zu erwarten. Enthält die Luft jedoch mehr als 70 % relative Feuchtigkeit, so bildet sich auf Metalloberflächen durch Adsorption ein Wasserfilm. Damit ist auf der Metalloberfläche eine flüssige, wäßrige Phase als Elektrolyt vorhanden, die zur Korrosion führt.

In der Landwirtschaft entsteht ein Wasserfilm auf den Werkstoffoberflächen vor allem durch Tau oder Schweißwasser. Schweißwasser tritt vor allem im Sommer auf, wenn in kühleren Räumen bei Lüftung warme, mit Feuchtigkeit gesättigte Luft an den kälteren Metallteilen vorbeistreicht. Tau und Schweißwasser treten also bei Temperaturschwankungen bzw. -unterschieden auf, die vor allem in Lagerräumen vermieden werden sollten. Die Aggressivität des Feuchtigkeitfilms ist von seiner Dicke unabhängig; sie wird jedoch dann erhöht, wenn in der Luft korrosionsfördernde Stoffe (z.B. Chloride, Oxide des Schwefels oder Stickstoffs) vorhanden sind, die sich im Wasserfilm anreichern.

Besonders ungünstig ist eine ungleichmäßige Verteilung des Wasserfilms auf der Werkstoffoberfläche. Eingehende Untersuchungen sind über den durch Tropfen bedingten punktförmigen Angriff angestellt. Die Innenbezirke des Tropfens werden durch Sauerstoffverarmung zur Anode und seine Außenbezirke durch zusätzliche Belüftung zur Kathode, Bild 1. Die unterschiedliche Belüftung eines Elektrolyten wirkt sich u.a. auch in Spalten als „Spaltkorrosion“ aus.

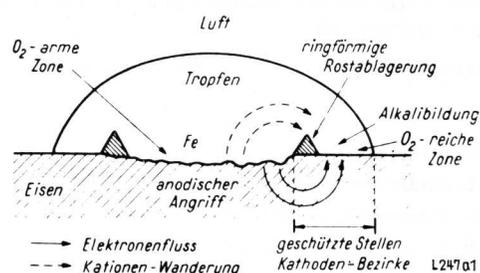


Bild 1. Schematische Darstellung der Korrosion von Eisen unter einem Tropfen.

Innenbezirk wird zur Anode durch Sauerstoffverarmung, Außenbezirk wird zur Kathode durch zusätzliche Belüftung.

Wasserfilme auf Werkstoffoberflächen entstehen ferner durch Regen, Hagel, Schnee oder Vereisung. Durch Regen werden die Oberflächen, die ungeschützt der Witterung ausgesetzt sind, gleichmäßig benetzt. Bei unmittelbarem Regenaufprall können von der Werkstoffoberfläche dort früher abgelagerte oder entstandene korrosionsfördernde Stoffe entfernt und damit die Korrosion vermindert werden. Durch diese Tatsache ist das unterschiedliche Verhalten von Werkstoffoberflächen erklärbar, auf die einerseits der Regen unmittelbar aufprallt und auf die andererseits der Regen nicht direkt auftrifft. Bei Schnee und Eis ist bei den hierdurch bedingten tieferen Temperaturen die Korrosion geringer als durch Wasserfilme bei Raumtemperaturen.

Von den Bestandteilen der Luft wirken neben der Feuchtigkeit vor allem schweflige Säure aus den Rauchgasen und Chloride in der Meeresluft korrosionsfördernd. Durch den unterschiedlichen Gehalt der Atmosphäre an  $\text{SO}_2$  ist auch die geringere Korrosion der Metalle im Sommer im Vergleich zum Winter und die geringere Korrosion in Landluft im Vergleich zur Stadtluft zu erklären.

Unter den speziellen Bedingungen der Landwirtschaft ist gegebenenfalls örtlich mit einem stärkeren Angriff der Atmosphäre durch Feuchtigkeit (z.B. beim Lagern von nicht getrockneten Früchten, Futtermitteln und dgl.), durch aggressive Dämpfe aus Futtermitteln (wenn sie z.B. einem Gärprozeß unterliegen), durch Ausdünstungen und Staub aus Düngemitteln, Unkrautvertilgungsmitteln, Pflanzenschutzmitteln, Beizmitteln und dgl. zu rechnen (vgl. Abschn. 2.4).

Besondere Bedingungen herrschen ferner in Silos, Tierställen, Treibhäusern, Gewächshäusern, Fahrzeug- und Geräteschuppen, Scheunen usw. In jedem Falle müssen die Auswahl des Konstruktionswerkstoffes, die Konstruktion selbst und die Schutzmaßnahme den jeweiligen chemischen und mechanischen Beanspruchungen angepaßt sein. Über die hiermit verbundenen Probleme liegen umfangreiche Schrifttumsangaben, z.B. [3 bis 9], vor, so daß auf ihre Behandlung an dieser Stelle verzichtet werden kann.

### 2.2. Das Wasser

Natürliche Trink- und Brauchwässer werden in der Landwirtschaft in großem Umfange für die verschiedenartigen Zwecke – wie z.B. zum Viehtränken, zur Futterbereitung, zum Reinigen, zum Sprengen der Felder [10] – verwendet. Wasser ist ein allgemeiner Sammelbegriff. Unter den natürlichen Wässern sind wäßrige Lösungen zu verstehen; sie enthalten, wenn auch nur in geringen Mengen, Gase, anorganische Salze und organische Verbindungen, die das Wasser auf seinem Kreislauf als Regen, Flußwasser, Seewasser und Grundwasser aufgenommen hat. Richtwerte für die Beurteilung des korrosionschemischen Verhaltens kalter Wässer gegenüber unverzinktem und verzinktem Stahl und Eisen sind in DIN 50930 und für warme Wässer in DIN 50931 aufgeführt. Wichtige Angaben aus diesen Normenblättern sind in Tafel 2 verzeichnet. Aus den Angaben ist zu entnehmen, daß der Salzgehalt nicht mehr als 600 mg/l und die Karbonathärte etwa  $6^\circ\text{dH}$  betragen soll. Grenzwerte sind ferner für Sulfat-, Chlor-, Ammonium- und Kupferionen angegeben.

Sehr weiche Wässer wirken angreifend, da die Hemmung der Korrosionsreaktion durch Schutzschichten fehlt. In Wasserleitungsrohren aus Stahl können sich Kalkrostschutzschichten bilden, wenn das Wasser eine gewisse Härte ( $> 6^\circ\text{dGH}$ ) aufweist und geringe Mengen Sauerstoff enthält.

In engem Zusammenhang mit der Härte steht der Kohlensäuregehalt des Wassers. Hierbei wirken sich die Gleichgewichtsverhältnisse zwischen Karbonaten, Hydrogencarbonaten und freier Kohlensäure aus. Die sog. zugehörige freie Kohlensäure ist zur Aufrechterhaltung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts gemäß dem Massenwirkungsgesetz erforderlich. Die überschüssige freie Kohlensäure, die auch als rostschutzverhindernde Kohlensäure bezeichnet wird, vermag Karbonate aufzulösen. Ihre Menge soll möglichst gering sein.

In großem Umfange wird in der Landwirtschaft Regenwasser aufgefangen. In ländlichen Gegenden enthält Regenwasser zwischen

Tafel 2. Richtwerte für die Beurteilung des korrosionschemischen Verhaltens von Wässern gegenüber unverzinktem und verzinktem Stahl.

Arten der Stoffe bzw. Eigenschaften	Anhaltswerte für die Gehalte in	
	Kaltwasser nach DIN 50930	Warmwasser (25 bis 65 °C) nach DIN 50931
Karbonathärte (KH)	≤ 0,5 m/s*) 6° dKH 0,5 m/s*) 2° dKH	≥ 3° dKH
Calciumhärte (CaH)	0,5 m/s*) 6° dCaH	3° dCaH
Sulfationen (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	250 mg/l	300 mg/l
Chlorionen (Cl <sup>-</sup> ) bei 3 bis 6° dKH bei 6° dKH	75 mg/l 150 mg/l	75 mg/l 150 mg/l
Ammoniumionen (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	20 mg/l	20 mg/l
Kupferionen (Cu <sup>2+</sup> ) für verzinkten Stahl für unverzinkt. Stahl	0,1 mg/l 1,0 mg/l	0,2 mg/l
Abdampfdruckstand bei 180 °C	600 mg/l	
Gelöster Sauerstoff	0,5 m/s*) 6 mg/l 0,5 m/s*) 2 mg/l	0 mg
Kaliumpermanganatverbrauch	300 mg/l	
Elektrische Leitfähigkeit bei 20 °C	1000 μs/cm	
Rostschutzverhindernde Kohlensäure	nicht anwesend	nicht anwesend

\*) Strömungsgeschwindigkeit

0,5 bis 5 mg/l Nitrate und in Industriegebieten auch Sulfate und Chloride. In der Nähe des Meeres sind im Regenwasser bis zu 100 mg/l Natriumchlorid festgestellt. Regenwasser mit hohen Sauerstoffgehalten und mit Ammoniumverbindungen wirkt stärker aggressiv als das übliche Regenwasser.

Bei der Bewässerung von Anbauflächen in der Landwirtschaft durch künstliches Beregnen haben sich wegen ihres geringen Gewichtes und ihrer guten Korrosionsbeständigkeit Rohre aus kupferfreien Aluminiumlegierungen der Gattung AlMg oder AlMgSi und Anschlußstücke aus der Legierung G AlSi bewährt [10].

Im Verhalten der Abwässer in der Landwirtschaft, die vom Spülen, Waschen, Reinigen usw. herrühren, ist eine gewisse Parallele zu häuslichen Abwässern gegeben. Ein besonders hoher Anteil an organischen Substanzen ist z.B. in stark verjauchtem Abwasser vorhanden. Zum Korrosionsschutz müssen hier die gleichen Maßnahmen wie bei Jauche ergriffen werden. In milchverarbeitenden Betrieben sind die Abwässer fettreich und eiweißhaltig. Aus schwefelhaltigen Eiweißstoffen kann sich neben organischen Säuren auch Schwefelwasserstoff bilden. Die Zersetzung der organischen Stoffe findet unter Sauerstoffverbrauch statt, so daß ein geringer Sauerstoffgehalt für sie kennzeichnend ist.

In häuslichen und landwirtschaftlichen Abwässern ist häufig eine reichliche Kleinfloora – Bakterien und Pilze – neben Kleinsttieren vorhanden. Kann sich durch biologische Einflüsse z.B. auf den Wänden von Behältern und Rohren eine gallertartige Haut – die Sielhaut – ausbilden, so wirkt diese korrosionsschützend.

### 2.3. Das Erdreich

Im Erdreich sind die Umwelteinflüsse auf Metalle so verschiedenartig und vielgestaltig, daß die dort stattfindenden Korrosionsvorgänge nur an Hand praktischer Erfahrungen beschrieben und ausgewertet werden können. Dementsprechend ist der Einsatz von Korrosionsschutzmaßnahmen von der Beschaffenheit des jeweiligen Bodens und dem Grad seiner Aggressivität abhängig [11; 12].

Kommen blanke Metallteile nur kurzzeitig beim Gebrauch mit dem Erdreich in Berührung – z.B. bei Pflugscharten und Eggen –, so überwiegt die mechanische Beanspruchung und zur Verhütung der Korrosion in der Stillstandsperiode sollte in jedem Fall das anhaftende Erdreich unmittelbar nach dem Gebrauch vollständig entfernt werden.

Von den allgemein in Frage kommenden Einflußgrößen bei der Korrosion durch Erdreich sind folgende erwähnenswert:

- die chemische Zusammensetzung des Erdreichs unter besonderer Beachtung der wasserlöslichen Bestandteile,
- der Feuchtigkeitsgrad,
- pH-Wert eines wäßrigen Auszuges,
- scheinbare Dichte bzw. das Porenvolumen und die dadurch bedingte Belüftungsmöglichkeit,
- der elektrische Widerstand bzw. die Leitfähigkeit,
- die Gegenwart von Mikroorganismen und Makroorganismen sowie von Kleinsttieren.

Im natürlichen Erdreich gelten Sand, Ton, Kalk und Humus als charakteristische Bodenkomponenten. Die Aggressivität dieser Komponenten ist unterschiedlich. Das Verhalten von Stahl in Abhängigkeit von den genannten Stoffen und ihrer Konzentration ist in einem ternären Diagramm gut zu übersehen, Bild 2. Aus der Darstellung folgt u.a., daß Kalkböden Stahl praktisch nicht angreifen, daß Humus- und Moorböden aggressiv sind und daß die Aggressivität von Ton- und Leimböden vom Wassergehalt abhängig ist [11; 12].

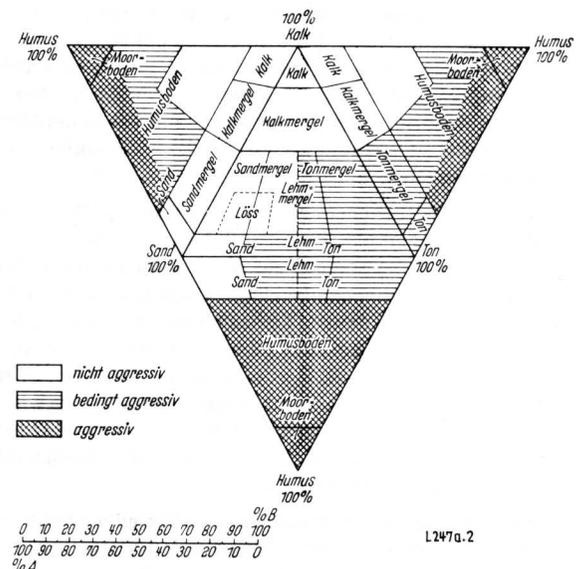


Bild 2. Die angreifende Wirkung von natürlichem Erdreich auf Stahl mit unterschiedlicher Aggressivität der Komponenten: Sand, Ton, Kalk und Humus in Abhängigkeit von ihrer Art und Konzentration.

Für Zink sind je nach der Art des Erdreichs folgende Korrosionsverluste (g/m<sup>2</sup> a) festgestellt:

Art des Erdreichs	Korrosionsverlust g/m <sup>2</sup> a
anorganisch, oxidierend, sauer	14
anorganisch, oxidierend, alkalisch	26
anorganisch, reduzierend, sauer	26
anorganisch, reduzierend, alkalisch	31 bis 330
organisch, reduzierend, sauer	80 bis 460
Asche	280

Nach diesen Angaben wird der stärkste Angriff von reduzierend wirkenden alkalisch anorganischen bzw. sauren organischen Erdreichen ausgeübt [13].

In bestimmten natürlichen Erdreichen sind zusätzliche Kalisalze und/oder Gips vorhanden. In feuchtem Erdreich fördern diese wasserlöslichen Bestandteile die Korrosion der Metalle.

Vom Porenvolumen ist die Belüftungsmöglichkeit des Bodens abhängig. Im gut belüftbaren, lockeren Erdreich rechnet man in den oberen Zonen mit etwa der gleichen Korrosionsgeschwindigkeit wie an der Atmosphäre.

Beträgt der elektrische Widerstand des Erdreichs 200 000 Ohm/cm, so ist das Erdreich praktisch nicht aggressiv; bei 30 000 bis 50 000 Ohm/cm wird es als aggressiv und bei weniger als 10 000 Ohm/cm als sehr aggressiv bezeichnet.

Künstliche Erdreiche bestehen häufig aus Abfallstoffen, wie z.B. Schutt, Müll oder Schlacke. In Müll bilden die darin vorhandenen organischen Stoffe mit der Zeit vielfach aggressive Abbaustoffe. In Schlacken wird die Korrosion durch Schwefelverbindungen und durch unverbrannte Kohleteilchen erhöht, die bei unmittelbarer Berührung mit Metall Korrosionselemente bilden.

Unter Mitwirkung von Bodenbakterien werden gegebenenfalls Sulfate zu Sulfiden reduziert. Diese Vorgänge spielen sich vor allem in Böden mit organischen Stoffen, wie z.B. im Moor und in Jauche mit  $p_H$ -Werten zwischen 5,5 und 8,5, ab. Durch den Zusatz bakterizid wirkender Stoffe kann die Korrosion verhindert werden.

## 2.4. Typische, zusätzliche Korrosionsmittel

### 2.4.1. Einführung

Bedingt durch die Aufgaben der Landwirtschaft werden Naturstoffe und/oder Chemikalien eingesetzt, die allein oder häufiger bei kurzzeitigem Gebrauch gemeinsam mit der Atmosphäre oder mit Wasser oder mit dem Erdreich auf die Werkstoffe einwirken. Sonderkorrosionsmittel sind neben den Nahrungs- und Futtermitteln vor allem die Düngemittel sowie die Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel (Pestizide) [14 bis 16].

Solche flüssigen oder festen Stoffe werden dem Landwirt gegebenenfalls mit Gebrauchsanweisung angeliefert, von ihm gelagert, nötigenfalls in Wasser oder speziellen Mitteln aufgelöst bzw. verdünnt, transportiert und in zweckentsprechender Form mit dem Saatgut, dem Erdreich, den Pflanzen oder den Tieren in Kontakt gebracht.

Neben der Metallabtragung durch Korrosion ist auf dem Nahrungs- und Futtermittelgebiet auch auf die Entstehung von metallhaltigen Korrosionsprodukten zu achten; denn selbst bei geringer Korrosion können bereits Spuren von Metallverbindungen den Geschmack und die Bekömmlichkeit der Nahrungsmittel beeinflussen und in bestimmten Fällen auch gesundheitschädigend wirken, sowie zu mikrobiologischen und sinnesphysiologischen Erscheinungen führen. So genügen z.B. bereits wenige Milligramm Kupfer aus verzinn-ten Kupferteilen in Molkereien zum schnellen Ranzigwerden von Butter.

Je nach Art und Zweck der Mittel werden sie durch Stäuben, Spritzen, Sprühen, Vernebeln, Ausstreuen, Injizieren oder Inkru- stieren ausgebracht. Für diese Zwecke sind spezielle Geräte und Maschinen entwickelt, bei deren Werkstoffauswahl die jeweiligen chemischen Beanspruchungen zu berücksichtigen sind [17]. Dieses gilt auch für Teile, bei denen die chemischen Beanspruchungen nur kurzzeitig und über die Gasphase auftreten. Letzteres kommt z.B. bei Flugzeugen in Betracht.

Beim Pflanzenschutz ist das Spritzen das älteste, sicherste und auch heute noch am meisten angewendete Verfahren. Spritzmittel werden handelsüblich, vielfach in fester Form geliefert. Hierbei werden Angaben über die anzuwendende Konzentration mit Wasser oder organischen Lösungsmitteln und über den erforderlichen Druck beim Spritzen gemacht. Die Mittel werden im allgemeinen stark verdünnt und ihre korrodierende Wirkung ist bei den kurzen Berührungszeiten mit Behältern, Pumpen, Leitungen und Düsen verhältnismäßig gering.

Das Stäuben geschieht meistens mit gebrauchsfertigen, trockenen Pulvern, die austreifend geliefert werden. Hierdurch ist im Vergleich zum Spritzen der Aufwand für Behälter und Transport geringer; es entfällt das zeitraubende und gelegentlich fehlerhafte Ansetzen von Spritzbrühen. Da die Mittel in trockenem Zustande aufgebracht werden, wirken sie wenig metallangreifend. Ihr Einsatz ist verhältnismäßig gering, da nur wenige Mittel in die erforderliche Staubform gebracht werden können. Für das Sprühen benutzt man im allgemeinen Behälter, die kleiner als beim Spritzen sind. Die metallangreifende Wirkung der Sprühmittel entspricht etwa der der Spritzmittel.

Das Vernebeln der Mittel erfolgt im allgemeinen aus relativ kleinen Behältern mit Kompressorluft. Für diese Zwecke werden gebrauchsfertige Lösungen bereitgestellt, die zum Pflanzenschutz im Verhältnis von etwa 1 : 20 verdünnt werden. Sind von den Mitteln besonders aggressive Wirkungen zu erwarten, so ist vom Lieferanten auf zweckentsprechende Schutzmaßnahmen hinzuweisen [17]. Werden feste Teile für sich allein oder in Flüssigkeiten ausgebracht, so muß gegebenenfalls mit Erosionskorrosion gerechnet werden, deren Größe von der Art, Korngröße, Kornform und Härte des Mittels abhängig ist. Die vielfach den Lösungen zugesetzten Netz- und Dispergiermittel wirken sich im allgemeinen auf die Korrosion nicht aus.

Von den Sonderkorrosionsmitteln in der Landwirtschaft sind noch folgende Einzelheiten erwähnenswert:

### 2.4.2. Düngemittel

Durch ihre unterschiedlichen Zusammensetzungen und ihre verschiedenen Zustandsformen wirken sie auf die Werkstoffe, mit denen sie bei der Lagerung, beim Transport und bei der Verteilung in Kontakt kommen, stark differenziert. Zur Verhütung von Werkstoffzerstörungen werden beim Gebrauch der Mittel gegebenenfalls nur besondere Werkstoffe bzw. spezielle Schutzverfahren eingesetzt. Für kombinierte Düngemittel stehen Werkstoffe mit ausreichender Korrosionsbeständigkeit zur Verfügung [18]. Weniger häufig brauchen die Lagerbehälter für flüssige Düngemittel gereinigt zu werden, wenn Behälter und Düsen aus säurefestem Chrom-Nickelstahl 18/8 gefertigt sind. Sie besitzen eine unbegrenzte Lebensdauer und die Verstopfung der Spritzdüsen wird vermieden [19]. Wie weit bei der Herstellung von Kunstdünger, z.B. Ammonsalpeter, nickelfreie Stähle und Stähle mit geringem Nickelgehalt anwendbar sind, wurde von A.V. Makarova [20] untersucht. Für Stickstoff-, Phosphat- und Kalidünger in Form von wäßrigen Lösungen oder Emulsionen sind für Behälter, Transportgefäße, Verdünsungsanlagen und -geräte unlegierte Stähle ungeeignet; empfohlen werden Chrom- und Chromnickelstähle der Werkstoffnummern nach DIN 17007: 4002, 4016, 4510, 4301, 4541 und 4550 [21].

Bei praktischen Versuchen von 1957 bis 1960 mit Feldsprühgeräten, in denen flüssiger Volldünger (N.P., Kali) gelagert und versprüht wurde, wurde festgestellt, daß Teile aus unlegiertem Stahl auch im Kondensraum gleichmäßig verrosteten (Abtragung 125  $\mu\text{m/a}$ ), Teile aus Aluminiumlegierungen mit weißen Korrosionsprodukten bedeckt wurden (Abtragung 100  $\mu\text{m/a}$ ), Teile aus ferritischen und nichtrostendem Stahl CrMnNiN durch örtlichen Angriff eine narbige Oberfläche bekamen, in Schweißnähten Löcher und Risse entstanden und nur Teile aus nichtrostendem Chromnickelstahl 18/8 unangegriffen blieben [22].

Von den natürlichen Düngemitteln unterliegen Jauche und Mist chemischen Prozessen, bei denen metallangreifende Säuren entstehen. Sie sollen deshalb – wenn möglich – verbraucht werden, ehe sich größere Säuremengen gebildet haben. Ihr Kontakt mit Metallen beim Transport und beim Verteilen soll möglichst kurz sein.

Zum Nachweis des unterschiedlichen Verhaltens verschiedener Metalle in Jauchen und Fäkalien sind in Tafel 3 über die Korrosionsbeständigkeit von Aluminium, Stahl, Gußeisen, Kupfer, Blei usw. Zahlenwerte angegeben. Hiernach findet im Luftstrom über den Lösungen bei Stahl und galvanisch verzinktem Stahl ein

Tafel 3. Korrosionsgeschwindigkeit in mm/a von verschiedenen Metallen in Jauche und Fäkalien.

Metalle	im Luftraum	halbein- getaucht	ganzein- getaucht
Stahl, blank, C 0,1 - Mn 0,2	0,160	0,158	0,058
Flußeisen, blank, C 0,1 - Mn 0,64	0,215	0,158	0,048
Schwarzblech mit Walzhaut	0,253	0,082	0,032
Gußeisen, blank, C 3,3 - Mn 0,33 - Si 2,9	0,066	0,028	0,006
Gußeisen mit Gußhaut	0,038	0,014	0,005
Temperguß C 0,40 - Mn 0,2 - Si 1,1	0,220	0,140	0,011
Aluminium, rein	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Aluminium, rein, eloxiert	0,0	0,0	0,0
Aluminium Cu2Mn1	0,045	0,165	< 0,003
Kupfer	0,065	0,084	0,063
Messing 65	0,0	0,013	0,0
Sondermessing 56 % Zn	0,005	< 0,003	0,0
Blei 98,8 %	0,002	0,002	0,002
Stahl, feuerverzinkt	0,084	0,014	0,007
Stahl, galvanischverzinkt	0,150	0,105	0,010

größerer Angriff statt als in halb- bzw. eingetauchtem Zustand. Als aggressiver Bestandteil ist noch Schwefelwasserstoff erwähnenswert [2].

Die korrodierende Wirkung von Kompost und von anderen in der Landwirtschaft verwendeten Chemikalien auf Stahl, Zinküberzügen, Aluminium und Aluminiumlegierungen wurde festgestellt, um zweckentsprechende Schutzverfahren einzusetzen [23].

Die wichtigsten Pflanzennährstoffe enthalten Kalk, Stickstoff, Phosphor und Kali. Dementsprechend werden als Mineral- und Kunststoffdünger Kalk, Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumverbindungen allein oder im Gemisch angewandt. Die metallangreifende Wirkung verschiedenartiger Düngemittel wurde von T. Marshall und L.G. Neubauer [24] auf Werkstoffe, wie sie im Flugzeugbau Verwendung finden, und von Korrosionsschutzverfahren (Chromatieren von plattiertem Aluminium, Eloxieren von Al-Legierungen AlCuMg, Aufbringen von Selenid auf Mg-Legierungen) im Laboratorium bestimmt. In Tafel 4 sind die verwendeten Chemikalien und Werkstoffe sowie die Versuchsergebnisse (Dickenveränderungen der Proben in mm/a, die Oberflächenveränderungen der Proben und die Festigkeitsverluste in Prozenten zur Ausgangsfestigkeit) angegeben. In Anlehnung an die praktischen Gebrauchsbedingungen wurden Feuchtlagerversuche bei Raumtemperatur durchgeführt, bei denen im wöchentlichen Zyklus 24 h Luft mit 100 % Feuchte und 24 h trockene Luft zweimal nacheinander und dann 8 h 100 %ige Feuchte und 64 h trockene Luft als Korrosionsmittel gewählt wurde.

Die Veränderungen der Probe in Kalk, gebranntem Kalk, basischer Schlacke und Mehl waren so gering, daß auf ihre Wiedergabe verzichtet werden kann; sie werden als nicht aggressiv bezeichnet.

Von den Stickstoffdüngemitteln sind am bekanntesten: Ammoniumsulfat, verschiedene Ammonsalpetere, Kalkstickstoff, Ammoniak und Harnstoff. In Dämpfen über Ammoniumsulfat mit 2,5 % Wasser von 60 °C wurden von Zinkblech 0,1 mm/a und von Zinkguß 0,04 mm/a abgetragen [13]. In abwechselnd trockener und feuchter Luft (vgl. Tafel 4) wurden durch das hygroskopische Ammoniumsulfat, dessen Lösung schwach sauer ist, die Magnesiumlegierung am stärksten, weniger Stahl und noch weniger Aluminium angegriffen. Selenidschichten auf der Magnesiumlegierung wirkten nicht genügend schützend. Eloxalüberzüge und chromathaltige Reaktionsgrundierungen verzögerten die Korrosion nur bedingt [24].

Dämpfe über Ammoniumnitrat mit 3,54 % Wasser von 60 °C wirkten auf Zink noch wesentlich stärker ein als Ammoniumsulfat; denn

Tafel 4. Dickenabnahme der Proben in mm/a, Korrosionserscheinungsarten und Festigkeitsverluste in Prozenten zur Ausgangsfestigkeit verschiedener Metalle gegen Düngemittel.

Düngemittel	Metalle:						
	Stahl	Stahl mit Zn	Al 98 %	AlCuMg platt.	AlCuMg Leg.	AlMg-Leg. 3 % Mg	Mg-Leg. 2 % Mn
Ammoniumsulfat	0,155 ungl. 11 %	0,254 ungl. ohne	0,005 pktf. wenig	0,021 örtl. wenig	0,018 pktf. 17 %	0,005 pktf. 5 %	0,86 ungl. 52 %
Kalkstickstoff	0,198 örtl. 30 %	0,305 ungl. ohne Zn	0,0 unv. wenig	0,0 unv. wenig	0,0 unv. wenig	0,0 ungl. 2 %	0,84 ungl. 57 %
Superphosphat	0,066 ungl. 6 %	0,0 ungl. noch Zn	0,003 pktf. wenig	0,003 pktf. wenig	0,005 pktf. 4 %	0,003 pktf. 4 %	0,023 ungl. 3 %
Superphosphat mit Mineral	0,031 ungl. gering	0,0 ungl. noch Zn	0,0 pktf. gering	0,0 pktf. gering	0,0 pktf. gering	0,0 pktf. 2 %	0,013 ungl. 2 %
Superphosphat mit Serpentin	0,038 ungl. gering	0,0 ungl. noch Zn	0,0 pktf. gering	0,0 pktf. gering	0,0 pktf. gering	0,0 pktf. gering	0,008 ungl. gering
Kupfersulfat	0,42 ungl. 44 %	0,076 ungl. z.T. ohne Zn	0,010 pktf. gering	0,023 örtl. 7 %	0,021 pktf. 14 %	0,021 pktf. 13 %	0,126 pktf. 24 %
Superphosphat mit Kupfersulfat	0,018 örtl. gering	0,0 örtl. noch Zn	0,0 pktf. gering	0,0 örtl. gering	0,0 pktf. gering	0,0 pktf. 3 %	0,018 pktf. 5 %
Kobaltsulfat	0,031 pktf. 3 %	0,0 örtl. z.T. ohne Zn	0,003 pktf. gering	0,0 örtl. gering	0,003 pktf. gering	0,0 pktf. gering	0,052 pktf. 4 %
Superphosphat mit Kobaltsulfat	0,018 pktf. wenig	0,0 örtl. noch Zn	0,0 pktf. 2 %	0,0 pktf. gering	0,0 pktf. gering	0,0 pktf. 3 %	0,018 pktf. 2 %
Kali	0,356 ungl. 71 %	0,10 ungl. z.T. ohne Zn	0,003 pktf. gering	0,01 pktf. gering	0,066 pktf. 56 %	0,0025 pktf. 4 %	0,0212 pktf. 41 %
Weizen mit Phosphorbelag	0,025 ungl. gering	0,0 ungl. noch Zn	0,0 unv. gering	0,005 örtl. 2 %	0,005 pktf. 21 %	0,0025 pktf. 9 %	0,025 ungl. 4 %

Anmerkung zu Tafel 4: Für jedes Düngemittel sind in der oberen Zeile die Dickenabnahmen in mm/a angegeben. In der zweiten Zeile sind die Korrosionserscheinungsarten bezeichnet und zwar: örtl. = örtlicher Angriff, pktf. = punktförmiger Angriff, ungl. = ungleichmäßiger Angriff, unv. = unveränderte Oberfläche. In der dritten Zeile sind die Festigkeitsverluste in Prozenten zur ursprünglichen Festigkeit verzeichnet. Bei den Proben aus feuerverzinktem Stahl ist nur das Verhalten der Zinkschicht angegeben.

beim Zinkblech betrug die Dickenabnahme 11,6 mm/a und bei Zinkguß 4,38 mm/a [13].

Für flüssige Düngemittel mit 25 % Ammoniumhydroxid und anderen Ammoniumverbindungen werden faltbare Gummibehälter empfohlen, die auf der Innenseite aus einem Butylkautschukvulkanisat und auf der Außenseite aus luftbeständigem Chloroprenkautschuk oder Butylkautschuk bestehen [25].

Harnstoff wirkt in 20 %iger Lösung auf Zink (99,99 Zn) bei Raumtemperatur praktisch nicht ein, während in einer gesättigten Lösung 5,1 µm/a und in feuchtem Harnstoff mit 3 % Wasser 50,3 µm/a bei leichtem, punktförmigem Angriff abgetragen werden [13].

An Pumpen zum Fördern von einer wäßrigen Lösung von 39,5 % Ammoniumnitrat und 30,5 % Harnstoff wurden nach dreimonat-

tigem Gebrauch Werkstoffabtragungen von 0,6 mm festgestellt, wenn sie aus Gußeisen gefertigt waren. Im gleichen Angriffsmittel waren Pumpen aus Ni-Resist-Typ II selbst nach drei Jahren praktisch unverändert [26].

Kalkstickstoff, einer Mischung von Ammoniumnitrat und Kalk, wirkt in feuchter Atmosphäre auf Stahl und Zink stärker als Ammoniumsulfat. Gegen dieses Mittel kommen zum Korrosionsschutz Zinküberzüge aus Stahl und Selenidschichten auf Magnesiumlegierungen nicht in Betracht. Von Ammoniumnitratlösungen ist außerdem bekannt, daß sie bei unlegiertem Stahl mit niedrigem Kohlenstoffgehalt Spannungsrißkorrosion verursachen können. Bei den Versuchen verhielten sich die Stähle sehr unterschiedlich; in einem Falle traten Risse bereits nach wenigen Stunden auf, während andere Sorten drei Tage lang rißfrei blieben. Bei Spaltkorrosionsversuchen in einer Ammoniumsulfatlösung wurde eine nur geringe Korrosion in den Spalten von Stahl und in Lösungen von Kali ein nur geringer Angriff bei der AlCuMg-Legierung und der Mg-Legierung festgestellt [24].

Zu den Phosphatdüngemitteln gehören Glühphosphate, Nitrophosphate, Thomasmehl und Superphosphate. Glühphosphate enthalten vielfach einen Zusatz von Alkaliverbindungen und gegebenenfalls Kieselsäure oder Kohle, während Schmelzphosphate mit Zusatz von Erdalkali und Kieselsäure bei wesentlich höheren Temperaturen gewonnen werden.

In den Dämpfen über phosphathaltigen Düngemitteln ist Korrosion vor allem dann zu erwarten, wenn im Dünger noch Sulfate und Chloride vorhanden sind. Bei Zinkblech wurden bei 60 °C Dickenabnahmen von 5,1 mm/a und bei Zinkguß von 7,9 mm/a festgestellt [13]. In wäßrigen Lösungen ist die angreifende Wirkung der verschiedenen Superphosphate verhältnismäßig gering, wie aus den Zahlenwerten in Tafel 4 hervorgeht. Die in die Untersuchungen miteinbezogenen Lösungen aus nur Kupfersulfat bzw. Kobaltsulfat führten zu stärkerer Korrosion, da durch unedlere Metalle Cu- bzw.

Co-Metall auf den Oberflächen der unedleren Metalle niedergeschlagen werden. Hierdurch entstanden Korrosionselemente, die punktförmige Korrosion verursachten [24]. Die Korrosionsbeständigkeit von Aluminium gegen Superphosphate bedingt, daß dieses Metall in der Landwirtschaft in großem Umfange angewendet wird [27]. Für die Phosphat-Düngerindustrie werden Chlorkautschuküberzüge wegen ihrer guten korrosionsschützenden Wirkung empfohlen [28].

In Kalidüngemitteln ist das Kaliumion an Chlor- oder Sulfationen gebunden. Je nach dem Chlor- bzw. Sulfatgehalt ist nicht nur die Wirkung auf Erdreiche und Pflanzen, sondern auch auf Metalle unterschiedlich. Die aggressive Wirkung der wäßrigen Lösung von Kali hängt wesentlich von dem Chloridgehalt ab. Nach Versuchen im Laboratorium mit Düngeraufschwemmungen mit 0,7 bis 2,9 % Chlorionen und  $p_{\text{H}}$ -Werten von 3,1 bis 5,0 bei Temperaturen bis 70 °C wird durch die Erhöhung der Chlorionenkonzentration und durch die Herabsetzung des  $p_{\text{H}}$ -Wertes die Korrosion stärker. Bei Chloridkonzentrationen bis 1 % und  $p_{\text{H}}$ -Werten von 3,2 bis 4,5 sind austenitisch-ferritische Stähle Cr21Ni6Mo2Ti und Cr21Ni5Ti verwendbar (Korrosionsgeschwindigkeit 6,48 bzw. 2,47 g/m<sup>2</sup>d). Baustahl CSM 11373 wurde bei Chlorionenkonzentrationen bis 0,4 % bei  $p_{\text{H}}$ -Werten von 1,3 bis 3,7 mit 55,3 g/m<sup>2</sup> d und bei  $p_{\text{H}}$ -Werten von 4 bis 5 mit 19,6 g/m<sup>2</sup> d korrodiert, so daß derartige Stähle nur bei höheren  $p_{\text{H}}$ -Werten benutzt werden können [29].

Auch durch die Versuche von T. Marshall und L.G. Neubauer [24] wurde die angreifende Wirkung der chloridhaltigen Lösungen bestätigt (vgl. Tafel 4). Selbst die genannten Schutzverfahren versagten bei derartigen Beanspruchungen. Zum Schutz von Flugzeugteilen sind in jedem Falle zweckentsprechende Schutzverfahren einzusetzen und laufend zu kontrollieren.

#### 2.4.3. Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel (Pestizide)

Die Gruppe umfaßt: Beizmittel zur Erhöhung der Qualität des Saatgutes, Pflanzenschutzmittel gegen Krankheitsbefall, vor allem gegen Pilze (Fungizide), Schutz vor Unkraut und allgemeine

Unkrautvertilgungsmittel (Herbizide) und Schutzmittel vor Verlusten durch Insekten (Insektizide). Durch Pflanzenschädlinge wird der Welternterverlust im Jahre 1965 auf 70 bis 90 Milliarden Dollar = 35 % der Ernte geschätzt. Zur gleichen Zeit betrug der Wert der Mittel im Welthandel rund 1 Milliarde Dollar [16].

Mit dem Einsatz der Mittel sind gegebenenfalls die Gefahren für die menschliche Gesundheit und Beeinträchtigungen des Grundwassers verbunden, so daß sie amtlich zugelassen werden. In Deutschland erfolgt die Zulassung durch die Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Braunschweig und durch das Bundesgesundheitsamt Berlin. Durch die Höchstmengenverordnung wird die Bevölkerung vor zu hohen Konzentrationen an Rückständen der Gifte geschützt. Durch diese Beschränkung wird gleichzeitig die korrosive Wirkung der Mittel geregelt.

Im Handel befinden sich unter Firmenbezeichnungen mehr als 1000 Pflanzenschutzmittel. Die Anzahl der in den Präparaten vorhandenen Wirkstoffe, die insbesondere auch für ihre angreifende Wirkung maßgebend sind, ist wesentlich geringer; sie wird für Fungizide auf 30, für Herbizide auf 40 und für Insektizide auf 70 bis 80 geschätzt [16]. Auf die wichtigsten Wirkstoffe wird in den jeweiligen Unterabschnitten verwiesen.

Beizmittel dienen vor allem bei Saatgut zur Bekämpfung von Getreidekrankheiten, im Feldbau zur Verhütung von Pilzkrankheiten an Kartoffeln und Rüben; sie werden auch im Gartenbau und Forst eingesetzt.

Als Beizmittel dienen besonders häufig organische Äthyl-, Alkyl-, Alkoxy-, Aryl- und Phenyl-Quecksilberverbindungen sowie anorganische quecksilberhaltige Mittel wie Sublimat, Kalomel, Quecksilberoxid und das Metall selbst. Hierfür werden jährlich 26 t Quecksilber gebraucht [30]. Durch das Trockene oder nasse Beizen werden die Krankheitserreger auf chemischem Wege unschädlich gemacht.

Der Gebrauch von quecksilberhaltigen Mitteln soll in den nächsten Jahren weitgehend eingeschränkt und gegebenenfalls verboten werden, da Quecksilber zu den umweltgefährdenden Stoffen – den sog. Bioziden – gehört. Diese Einschränkung im Verbrauch von Quecksilberverbindungen liegt auch im Sinne der Werkstoffhaltung; denn Aluminium und einige Aluminiumlegierungen werden von Quecksilber und Quecksilbersalzen sehr stark und schnell angegriffen. Sichere Schutzmaßnahmen hiergegen bestehen nicht, da bereits Spuren des Metalls die zerstörende Wirkung ausüben. Der Kontakt von Aluminium mit Quecksilberverbindungen muß deshalb vermieden werden. Zink und Zinklegierungen sind gegen Quecksilberverbindungen nicht sehr empfindlich, so daß Zink für Beizmittel auf der Basis Phenyl-Hg-brenzcatechin verwendbar ist.

Die chemische Industrie ist aus den vorstehend genannten Gründen bemüht, quecksilberfreie Beizmittel zu finden, trotzdem die quecksilberhaltigen Mittel in ihrer Beizwirkung kaum zu übertreffen sind. Als quecksilberfreie Beizmittel kommen u.a. Formaldehyd, Schwermetallbeize, organische Arsenverbindungen, sowie hochchlorierte und nitrierte Benzolverbindungen in Betracht. Da diese Mittel in noch größerem Umfange als Fungizide, Herbizide bzw. Insektizide benutzt werden, wird ihre angreifende Wirkung in den entsprechenden Abschnitten behandelt.

Durch Pilze, Bakterien und Viruskrankheiten werden die jährlichen Erträge der Hauptkulturpflanzen wesentlich (mehr als 10 %) herabgesetzt. Durch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln sollen derartige Verluste verringert werden.

Zu den Pflanzenschutzmitteln können auch die bereits behandelten Beizmittel gerechnet werden. Mengenmäßig und in der Breite ihrer Anwendung nehmen kupferhaltige Fungizide den größten Platz ein. So werden für die Bekämpfung der Rebenperonospora Kupfersulfatlösungen in mehreren Zehntausend t/a eingesetzt. Kupfersalze werden u.a. als Kupferoxidchlorid oder in Form von Kupferkalkbrühe benutzt. Am bekanntesten hiervon ist die Bordeaux- bzw. Bordelaiserbrühe (ein Teil Kupfersulfat, 50 Teile Kalkmilch, 50 Teile Wasser) und die Burgunderbrühe (20 g Kupfersulfat, 24 g Natriumkarbonat auf 1 l Wasser). Neuere Fungizide auf der Basis organischer Kupferverbindungen sind von den Lancaster Laboratories [31] zusammengestellt.

Für alle Kupfersalzlösungen – und dies gilt allgemein für Salzlösungen von Metallen, die elektrochemisch edler sind als der Werkstoff des Werkstückes – gilt, daß bei Berührungen mit Stahl, Zink und anderen unedlen Metallen durch Ionenaustausch metallisches Kupfer auf der Oberfläche dieses unedleren Metalles niedergeschlagen wird. Hierdurch bilden sich Korrosionselemente, Kupfer/unedleres Metall, in dem das unedlere Metall anodisch verstärkt in Lösung geht. Der hierdurch eingeleitete Lochfraß führt dann schnell zur Durchlöcherung von Gefäßwänden oder dgl. So sind auch weder Aluminium 99,5% noch Aluminiumlegierungen der Gattungen AlMgSi noch AlMg<sub>3</sub> gegen Kalkkupferbrühe oder Kalkschwefelbrühe beständig. Durch anodische Oxidation und Lackierung wird die Korrosion selbst in diesen Mitteln verhindert [32].

Als kupferfreie Fungizide kommen Schwefel, Schwefelkalk, schwefelhaltige Verbindungen, z.B. Sulfide, und auch organische Schwefelverbindungen, wie z.B. Dithiocarbamate, in Betracht. Die korrosive Wirkung derartiger Mittel ist verhältnismäßig gering. Z.B. beträgt die Dickenabnahme von Zinkblech in Schwefelkalkbrühe 28 µm/a [13].

Für diese Zwecke sind ferner Arsenate, wie Natrium-Arsenit, Bleibzw. Calcium-Arsenat und Schweinfurter Grün (Kupferarsenit und Kupfer-Acetat) geeignet. Hierbei ist die angreifende Wirkung von Natriumarsenit merklich größer als die der Arsenate (275 µm/a im Vergleich zu 12,7 µm/a) [13].

In Sonderfällen werden auch chromathaltige Lösungen benutzt. In derartigen verdünnten Lösungen besteht praktisch keine Korrosionsgefahr, da solche Lösungen vielfach zur Erzeugung von Schutzschichten benutzt werden.

Die Verteilung der Pflanzenschutzmittel erfolgt vielfach durch Beregnungsanlagen, in denen die Mittel als wäßrige Lösungen durch verzinkte Rohre geleitet werden. Um zu wissen, wieweit Zink durch derartige Mittel angegriffen wird, wurden Korrosionsversuche durchgeführt. In der Versuchsreihe A in Tafel 5 wurden die Zinkbleche täglich 8 h lang den Aufschlammungen bzw. Lösungen ausgesetzt und anschließend 16 h lang in trockener Luft aufbewahrt. Die Versuchsdauer erstreckte sich auf 40 Prüfrunden. Bei einer zweiten Versuchsreihe (B in Tafel 5) wurden die Proben nach 8stündigem Verbleiben in Aufschlammungen bzw. Lösungen mit destilliertem Wasser abgespült und trocken aufbewahrt. Bei einer weiteren Versuchsreihe (C in Tafel 5) befanden sich die Proben 61 Tage lang in den Aufschlammungen bzw. Lösungen. Die für die Versuche benutzten Pflanzenschutzmittel, ihre Konzentration, der p<sub>H</sub>-Wert der Lösungen und die festgestellten Gewichtsverluste durch Korrosion in g/m<sup>2</sup> sind in Tafel 5 verzeichnet.

Aus den Versuchsergebnissen folgt, daß im Vergleich zum destillierten Wasser die Pflanzenschutzmittellösungen weniger korrodierend wirken. Bei der Dauereinwirkung (Versuch C) zeigen Pomarsol und Karathane die höchste Schutzwirkung. Die Beregnung der

Tafel 5. Korrosionsverluste von feuerverzinkten Blechen durch Pflanzenschutzmittel.

Art	Schutzmittel		Korrosionsverlust (g/m <sup>2</sup> )		
	Konz.	p <sub>H</sub> -Wert	Versuch		
			A	B	C
Delan	0,1	6,2	4,37	3,40	15,85
Karathane	0,1	6,65	1,12	1,89	6,19
Orthocid 50	0,25	7,35	2,55	1,98	25,45
Pomarsol	0,15	7,7	0,70	0,60	2,97
Magnesiumsulfat	2	6,15	3,93	3,11	13,01
Dest. Wasser	–	–	15,56	–	36,51

Delan = Dithianon-Präparat. Karathane = Dinitrophenyl-Crotonat. Orthocid 50 = Captan = Trichlormethylthio-tetrahydrophthalimid. Pomarsol = Tetramethylthiuramdisulfid.

untersuchten Pflanzenschutzmittel führt also keinesfalls zu einer beschleunigten und vorzeitigen Zerstörung der Rohre und Geräte [33].

Herbizide dienen zur totalen Pflanzenvernichtung und selektive Herbizide zur Unkrautvertilgung. Nicht nur in der Landwirtschaft, sondern auch in vielen Industriebetrieben – z.B. in den Gleisanlagen der Eisenbahn – muß Unkraut auf chemischem Wege entfernt werden. Für derartige Zwecke wurden in Deutschland in der Hauptsache Natriumchlorat, aber auch Calciumchlorat und arsenhaltige Mittel eingesetzt. Die korrodierende Wirkung der Chlorate ist allgemein bekannt. Bei ihrem Einsatz sind entsprechende Vorsichtsmaßnahmen erforderlich. Unerwünscht sind noch die Brandgefahr beim Einsatz der Chlorate und ihre nur kurzzeitige Wirkung.

Von C.H.F. Schreiber [34] werden folgende Herbizide genannt: Chlorate, Cyanate, Cyanamide, Sulfamate, 2, 4-D-Aminsäure und 2, 4, 5-T-Salz. Mit diesen Mitteln und Blechen aus einer plattierten AlCuMg-Legierung, Messing, Monel, Chrom-Molybdänstahl, Chrom-Nickelstahl, sowie Proben mit Überzügen aus dem Polyesterlack Furan, Epox-Lacken, Vinyl-Lacken und aus Chlorkautschuk wurden Versuche bei Raumtemperatur in Lösungen bis zu 75 Tagen oder in Gasatmosphären in dreitägigen Intervallen bis zu 60 Tagen durchgeführt.

Zu den Herbiziden werden auch Sulfamate in Form von Zink-, Ammonium- und Guanidinsulfamate gerechnet. Von derartigen wäßrigen Lösungen greifen 7 bzw. 40%ige Ammoniumsulfamatlösungen Zink am stärksten an (330 bzw. 382 µm/a) [13].

Da K-Cyanatlösungen und Arsenatlösungen fast alle Metalle angreifen, sollen Werkstücke, die mit ihnen in Berührung kommen, aus Kunststoffen gefertigt sein [21].

Die Ernteverluste durch tierische Schädlinge übersteigen noch wesentlich die Verluste, die durch Pilze, Bakterien, Pflanzenkrankheiten und dgl. verursacht werden. Die Vernichtung der tierischen Schädlinge ist deshalb dringend geboten.

Für diese Zwecke hat die chemische Industrie über 250 Wirkstoffe entwickelt, die hauptsächlich als Kontakt- und Fraßmittel eingesetzt werden. Ihre Verbreitung erfolgt in Form von Spritznebeln oder durch Stäuben. Atemgifte werden zur Schädlingsbekämpfung nur selten eingesetzt. Hierfür dient Blausäuregas, dessen Einsatz aber auf Räume beschränkt ist, die abgedichtet werden können. In trockenem Zustand ist Blausäuregas nicht korrosiv [16].

Für die Nagetierbekämpfung werden u.a. Räucherpatronen, Phosphor- und Thalliumpräparate, ferner Strichnin und Meerzwiebeln eingesetzt. Unter den Gebrauchsbedingungen wirken diese Mittel nicht oder nur wenig korrosionsfördernd.

Von anorganischen Stoffen werden als Insektizide Schwefel, Schwefelkalk, andere Schwefelverbindungen, Fluorverbindungen, Arsenate und Arsenite, z.B. in Form von Schweinfurter Grün (Kupferarsenit und Kupferacetat) sowie Brechweinstein (Kalium-Antimonyltartrat) angewandt. Da ein Teil der angeführten Mittel auch als Fungizide eingesetzt werden, sind ihre angreifenden Wirkungen z.T. schon oben behandelt. Über das Verhalten von Schwefel und Arsenaten sind Angaben in [34] gemacht.

Zur Blattlausbekämpfung dienen 1 bis 2%ige Seifenlösungen, die frei von Harzen, unverseifbaren Fetten, kieselsauren Salzen, Ton und ätzenden Bestandteilen sein sollen. Diese Seifenlösungen, ferner Harzölseifen, Raupenleime und Baumwaxse wirken nicht metallangreifend.

Als Kontaktgifte kommen in Betracht: Nikotin, z.B. auch in der Form von Nikotinsulfatlösung (Abtragung von Zinkguß in verdünnter Lösung 30,5 µm/a [13], Pyrethrum und Rotenon. Die letzteren Mittel werden aus Pflanzenkulturen gewonnen. Ihre korrosive Wirkung ist verhältnismäßig gering.

Zur wirksamen Bekämpfung der Insekten war die chemische Industrie bemüht, anstelle der Naturprodukte synthetisch hergestellte Chemikalien zu verwenden. Diese Mittel sollten gleichzeitig ungiftig sein. Diese Entwicklung führte zum Einsatz zahlreicher synthetischer

Wirkstoffe, die auf der Basis von Chlorkohlenwasserstoffen aufgebaut sind. Zu dieser Gruppe gehören die DDT-Präparate (2,2-Bis-(p-Chlorphenyl)-1,1,1-trichloräthan), Hexachlorcyclohexan, hochchloriertes Camphen (z.B. Toxaphen) und Cyclodien-Insektizide. Im allgemeinen sind die genannten Mittel gegen Licht und Luftsauerstoff beständig. Auch von schwachen organischen Säuren werden sie nicht zersetzt. In alkalischen Lösungen entsteht leicht Salzsäure; sie werden hierdurch biologisch unwirksam und greifen Metalle an. Bei dem Einsatz derartiger Mittel ist also in jedem Falle zu vermeiden, daß sie mit Alkalien in Berührung kommen. Gegebenenfalls führt die direkte Einwirkung von Sonnenlicht – also von ultravioletten Strahlen – zur Zersetzung der Chlorkohlenwasserstoffe. Dementsprechend müssen sie vor der direkten Einwirkung von Licht geschützt werden [16].

Auch die für diese Zwecke benutzten Carbamate, das sind Ester der Carbaminsäuren oder Urethane mit N-Methylgruppen sind gegen Alkalien empfindlich. Ihre metallangreifende Wirkung ist jedoch wesentlich geringer als die von zersetzten Chlorkohlenwasserstoffen [16].

Eine weitere Gruppe von Insektiziden sind als Phosphorsäureester entwickelt. So ist als TEPP das Tetraäthylpyrophosphat und als HETEP das Hexaäthyltetraphosphat bekannt. Derartige Mittel werden in sehr verdünnten, wäßrigen Lösungen benutzt. Hierdurch werden die Ester gespalten. Ihre Lösungen wirken auf Metalle weniger aggressiv als auf Anstriche.

Als hydrolysenfeste Dithiophosphorsäureester ist PE 605 bekannt, der deshalb in wäßrigen Spritzbrühen ausreichend beständig ist und somit auch auf Metalle nicht korrosiv wirkt. Auffallend ist die geringe korrosionsschützende Wirkung der organischen Überzüge gegen die Phosphatester. Während Messing verhältnismäßig beständig ist, werden Proben aus der Aluminiumlegierung der Gattung AlCuMg, plattiert verhältnismäßig stark angegriffen.

Bei der großen Anzahl der im Gebrauch befindlichen Wirkstoffe in Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln war es nur möglich, das Verhalten gegen Metalle und Schutzschichten für ihre wichtigsten Gruppen und für einige Einzelpräparate zu kennzeichnen. Bereits hierdurch wurde ihr stark unterschiedliches Korrosionsverhalten nachgewiesen. Damit ergibt sich die Notwendigkeit, daß für den praktischen Einsatz zur Verhütung von Korrosionsschäden von Herstellern und Lieferanten der Mittel genaue Angaben über die chemischen Eigenschaften gemacht und diese vom Verbraucher sorgfältig beachtet werden.

### 3. Korrosionsschutzmaßnahmen und Korrosionsschutzverfahren

#### 3.1. Korrosionsschutzmaßnahmen beim Werkstoff

Der Korrosionsschutz beginnt mit der Auswahl der zweckentsprechenden Werkstoffe unter Berücksichtigung der zu erwartenden chemischen und mechanischen Beanspruchungen. Aufgrund seiner mechanischen Eigenschaften werden in der Landwirtschaft Maschinen, Apparate, Behälter und Zubehör vor allem aus Stahl gefertigt. Seine Eignung beruht auf seinen Festigkeitseigenschaften, die durch die Zusammensetzung des Stahls – insbesondere durch seinen C-Gehalt – und durch seine thermische Behandlung weitestgehend variiert und den jeweiligen Verhältnissen angepaßt werden können. Spezielle Eigenschaften werden durch Legieren erreicht; so zeichnen sich mit Mangan legierte Stähle durch hohe Verschleißfestigkeit aus.

Die Rostbildung wird durch Schutzverfahren, insbesondere durch Überzüge (s. Abschn. 3.4), mit genügender Sicherheit vermieden. In Fällen, in denen die Überzüge störend wirken und nur schwache chemische Beanspruchungen vorliegen, weisen bereits die rosttrüben Stähle, die im Schrifttum vielfach auch mit schwer rostenden oder witterungsbeständigen Stählen bezeichnet werden, eine genügend lange Lebensdauer auf. Die Rosttrüchtigkeit wird durch geringe Gehalte der Stähle an Kupfer, Phosphor und Chrom erreicht.

Zu dieser Gattung gehören der COR-TEN- und der RBH 35-Stahl mit Cu-Gehalten von 0,25 bis 0,55 %, mit P-Gehalten von 0,07 bis 0,15 % und Cr-Gehalten von 0,3 bis 1,25 %. Ihre Witterungsbeständigkeit beruht auf einer besonders festen und dichten Schutzschicht aus Korrosionsprodukten oxydischer Art. Durch solche Schichten wird auch die Abriebfestigkeit der Werkstoffoberfläche wesentlich erhöht. Durch Natur-Rostversuche konnte ferner nachgewiesen werden, daß die Haltbarkeit von Anstrichen auf kupferhaltigem Stahl etwa 3mal größer ist, als auf ungekupfertem Stahl. Diese längere Haltbarkeit der Anstriche wird auf die Ausbildung passiver Sperrschichten aus basischen Kupferverbindungen zurückgeführt, die an Poren und sonstigen Fehlstellen der Anstriche auf der Stahloberfläche entstehen.

Ist mit Spannungsrißkorrosion zu rechnen, so sind als Gegenmaßnahme schwach mit Cr, Mo und/oder Al legierte Stähle einzusetzen. Für stärkere chemische Beanspruchungen sind die rostfreien und säurefesten Stähle entwickelt, die sich durch höhere Chrom- (> 12,5 %) und Nickelgehalte auszeichnen. Der bekannteste Vertreter dieser Gruppe ist der Chrom-Nickel-Stahl mit 18 % Cr und 8 % Ni, dessen Korrosionsbeständigkeit durch Zusätze von Mo und Cu erhöht und dessen Schweißbarkeit durch Ti ermöglicht werden kann. Für die Korrosionsbeständigkeit der Cr-Ni-Stähle ist ihr Gehalt an Kohlenstoff, Chrom und Nickel sowie ihre Wärmebehandlung bestimmend.

Für stärkere chemische Beanspruchungen kommen ferner Nickellegierungen – u. a. Monel [34; 35] und Ni-Resist [26] infrage.

Von den unedleren Metallen werden in der Landwirtschaft in großem Umfange noch Aluminium und seine Legierungen sowie Zink vor allem in Form von Überzügen auf Stahl gebraucht. Die Korrosionsbeständigkeit von Aluminium und seinen Legierungen beruht auf der natürlichen oxidischen Schutzschicht. Ihre Schutzwirkung wird vor allem in Umweltbedingungen, die oxidierend wirken – also schon in Luftsauerstoff – durch Verdicken der Schutzschicht erhöht. Sind Teile mit höherer Festigkeit verlangt, so werden hierfür Aluminiumlegierungen der Gattung AlMg und der Gattung AlCuMg empfohlen. Während die ersteren gut korrosionsbeständig sind, werden die AlCuMg-Legierungen zweckmäßigerweise durch Plattieren mit Reinaluminium oder einer korrosionsbeständigen Al-Legierung geschützt. Angaben über das chemische Verhalten von Aluminium sind im Schrifttum [1; 2; 5; 10; 23; 24; 27; 32], von Aluminiumlegierungen in [1; 2; 5; 10; 22 bis 24; 32] und von eloxiertem Aluminium in [1; 2; 32] zu finden.

Auch die Korrosionsbeständigkeit von Zink und Zinklegierungen beruht auf der Ausbildung natürlicher Schutzschichten aus Korrosionsprodukten. Im Vergleich zum Aluminium wirken solche Schichten jedoch nicht 100%ig schützend; denn in ländlicher Atmosphäre rechnet man bei Zink mit einer Korrosionsabtragung von 1 bis 3  $\mu\text{m/a}$ . Auf Zink enthalten die Schutzschichten in der Atmosphäre neben Oxiden auch vielfach noch Karbonate. Bei mechanischen Beanspruchungen werden derartige Schichten leicht zerstört, so daß solche Beanspruchungen möglichst zu vermeiden sind. Teile, die auf Verschleiß, Reibung und dgl. beansprucht werden, sollten bei gleichzeitigem chemischen Angriff nicht aus Zink gefertigt sein.

Bei der guten rostschtzenden Wirkung von Zinküberzügen auf Stahl wird Zink auch in der Landwirtschaft in dieser Form zum Schutz von Stahl in großem Umfange mit besonderem Erfolg eingesetzt (weiteres s. Abschn. 3.4.3).

Für Anstriche sind die natürlichen Schutzschichten auf Zink ein geeigneter Untergrund, so daß durch organische Überzüge die Widerstandsfähigkeit von Zinkoberflächen gegen Korrosion und Verschleiß erhöht werden kann. Korrosionsprobleme von Zink und Zinklegierungen in der Landwirtschaft werden im Schrifttum mehrfach in [1; 2; 13] und von verzinktem Stahl in [1; 2; 4; 7; 8; 13; 23; 24; 33; 36] behandelt.

Kupfer wird für Geräte, Maschinen und dgl. in der Landwirtschaft nur verhältnismäßig wenig eingesetzt. Trotz normalerweise guter Korrosionsbeständigkeit stören die grün oder blau gefärbten Korrosionsprodukte, die schon in sehr geringen Mengen eine Verfärbung

der angreifenden Mittel bedingen. Dieser Nachteil ist bei den Kupferlegierungen wie Messing und Bronze praktisch nicht vorhanden, außerdem zeichnen sich diese Legierungen durch höhere Festigkeit bei guter Verformbarkeit aus. Durch Legieren kann auch ihre Korrosionsbeständigkeit verbessert werden, wie dies bei Sondermessing und Aluminiumbronzen geschieht. Beim Gebrauch müssen die aus Messing gefertigten Teile frei von Eigenspannungen sein; denn durch Eigenspannungen wird schnell starke Spannungsrißkorrosion verursacht, die meistens schon nach kurzem Gebrauch einen Zerfall der Teile verursacht, ohne daß Korrosionsprodukte sichtbar aufgetreten sind. Das Beseitigen etwa vorhandener Eigenspannung geschieht zweckmäßigerweise durch eine genügend lange Wärmebehandlung bei Temperaturen, die von der Zusammensetzung des Werkstoffes abhängen. Die Brauchbarkeit von Messing wird im Schrifttum bestätigt [34; 36].

Magnesiumlegierungen kommen mit Chemikalien in der Landwirtschaft insbesondere beim Ausbringen der Chemikalien von Flugzeugen in Kontakt. Zum zahlenmäßigen Erfassen der Korrosion von der Magnesiumlegierung mit 2% Mn wurden Versuche mit verschiedenartigen Düngemitteln vorgenommen. Ergebnisse dieser Versuche sind in Tafel 4 zusammengestellt. Hiernach ist die Legierung gegen Kupfersulfat und Kali beständiger als Stahl [24]. Zum Verhüten der Korrosion werden deshalb Magnesiumlegierungen in der Landwirtschaft zweckmäßigerweise mit einem Überzug versehen.

Zum Vergleich mit den anderen Metallen zeichnen sich Blei und Bleilegierungen durch ihre hohe Korrosionsbeständigkeit gegen Schwefelsäure und ähnliche Schwefelverbindungen aus. Letztere kommen als angreifende Mittel in der Landwirtschaft nur selten in Betracht, und deshalb ist der Einsatz von Blei auf diesem Gebiete nur auf Sonderfälle beschränkt.

Zinn ist in Nahrungsmitteln verhältnismäßig gut beständig. Trotzdem kommen Metallteile aus Reinzinn wegen der geringen Härte des Metalles und seines Preises in der Landwirtschaft nur selten vor. Weit verbreitet ist dagegen der Einsatz von Zinn als Weißblech insbesondere für den Transport und die Aufbewahrung von Lebensmitteln, z. B. in Weißblechdosen, die auf ihren Innenseiten noch dünn lackiert sind.

In Landwirtschaft und Gartenbau werden in zunehmendem Maße Kunststoffe benutzt; sie zeichnen sich durch leichte Verarbeitbarkeit, geringes Gewicht, genügende Festigkeit und hohe Beständigkeit gegen chemische Beanspruchungen aus. Mit Pflanzen sind sie gut verträglich. Die chemische Großindustrie hat zahlreiche synthetische Stoffe entwickelt, die für diese Zwecke gut brauchbar sind. Durch die Variationsmöglichkeiten im Aufbau der Kunststoffe können sie in ihren Eigenschaften den jeweiligen Verwendungszwecken gut angepaßt werden. Beim Gebrauch sind sie bequem zu handhaben und leicht zu pflegen. Ihre Anwendung geschieht vielfach in Form von Rohren, Schläuchen, Folien und auch als Werkstücke für Maschinen und Geräte [6; 15; 25; 34; 36]. Besonders umfangreich ist ihr Einsatz als organische Überzüge. Hierauf wird in Abschnitt 3 und 4 eingegangen. Als Kunststoffbeschichtungen dienen sie ferner zum Korrosionsschutz z. B. von Silos und anderen Großbehältern [9].

### 3.2. Korrosionsschutzmaßnahmen schon beim Korrosionsmittel

In der Landwirtschaft werden solche Schutzmaßnahmen nur in Sonderfällen eingesetzt, denn die Umweltbedingungen sind gegeben und die in den Chemikalien vorhandenen aggressiven Stoffe werden zweckgebunden benutzt.

Bei Düngemitteln und anderen in der Landwirtschaft eingesetzten Stoffen, die hygroskopisch sind, kann ihre korrosive Wirkung durch Umhüllen mit Kieselgur oder durch Abbinden des Wassers durch Anhydrit zu Hydraten merklich vermindert werden.

Zum Verhüten der Korrosion in wäßrigen Lösungen werden diesen vielfach Inhibitoren, d. h. Stoffe, die die Korrosion hemmen, zugesetzt. Sind die Gebrauchswässer besonders aggressiv, so kann ihre angreifende Wirkung durch Zusatz von Inhibitoren verzögert werden. Ihre Wirkung beruht im allgemeinen darauf, daß auf der Werk-

stoffoberfläche Schutzschichten entstehen, die den weiteren Angriff des Metalles hemmen. Seit langem bekannt und in der Praxis viel verwendet sind Phosphate. Weiterhin haben sich Chromate bewährt, die dem Wasser in Mengen von etwa 0,5 bis 5 g/l zugesetzt werden. So sind für die Wasseraufbereitung von der chemischen Industrie handelsübliche Mittel entwickelt, durch deren Einsatz die aggressive Wirkung von Wasser und wäßrigen Lösungen stark vermindert werden kann [1].

In wäßrigen Lösungen wird die Korrosionsgeschwindigkeit vielfach durch einen geringen Zusatz von Chromaten gehemmt. Diese Möglichkeit wird für Aluminium und Aluminiumlegierungen in Natriumcyanamidlösungen und in Lösungen mit dem aggressiven TCA ausgenutzt [34].

Auch für stärker angreifende Mittel können Inhibitoren angewendet werden, die vielfach sehr kompliziert zusammengesetzt sind. Als Beispiel hierfür wird auf ein gegen Korrosion inhibiertes Düngemittel aus Phosphorsäure hingewiesen. Werden zur 75%igen Phosphorsäure 0,14% einer Mischung aus 0,04% Dialkyldimethylammoniumchlorid, 0,04% Harzamin, 0,04% polyäthoxyliertes quaternäres Ammoniumsalz, 0,01% Polymercaptoessigsäure und 0,01% Propargylalkohol zugesetzt, so wird die Korrosionsgeschwindigkeit auf weniger als 25,4  $\mu\text{m/a}$  herabgesetzt [37].

### 3.3. Korrosionsschutzmaßnahmen, die auf die Korrosionsbedingungen einwirken

Zur Gruppe dieser Korrosionsschutzmaßnahmen gehört u. a., daß von vornherein die Ansammlung und ungleichmäßige Verteilung des Korrosionsmittels vermieden werden. Bekanntlich findet an den Übergangsstellen Flüssigkeit/Luft ein verstärkter Angriff durch unterschiedliche Belüftung und gegebenenfalls durch Hochkriechen der Flüssigkeit über den normalen Flüssigkeitsstand statt. Diese Korrosionsgefahr ist vermeidbar, wenn man z. B. Behälter, Rohre oder dgl. nur vollgefüllt benutzt. In der Stillstandsperiode müssen sie vollgefüllt bleiben oder sonst nach dem Leeren gut getrocknet und der Zutritt von Feuchtigkeit vermieden werden.

Sind solche Stellen nicht zu vermeiden, so sind sie besonders zu schützen. Feste Ablagerungen, einschließlich Korrosionsprodukten, lagern sich vielfach auf Behälterböden ab und verursachen dadurch im Behälter unterschiedliche Korrosionsbedingungen. Ist mit der Entstehung zu solchen Ablagerungen zu rechnen, so sollten sie möglichst schnell beseitigt werden.

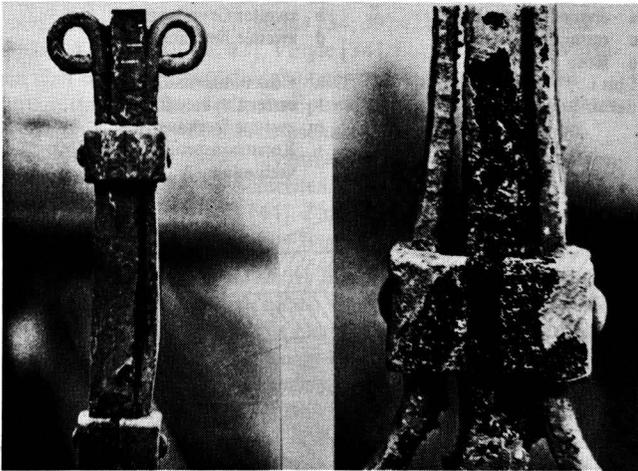
Vorteilhaft ist in jedem Fall, wenn zur Pflege, Reinigung und Unterhaltung alle Teile der Werkstückoberfläche leicht zugänglich sind. Diese Forderung gilt vor allem dann, wenn zum Verhüten der Korrosion Schutzschichten aufgebracht sind. Hierbei ist zu beachten, daß scharfe Kanten nur schwer durch Überzüge zu schützen sind und sie deshalb vor der Oberflächenbehandlung abgerundet sein sollen.

Bei Konstruktionen aus mehreren Werkstoffen ist zu beachten, daß ihre Berührung dort, wo mit chemischen Beanspruchungen zu rechnen ist, möglichst dicht sein muß; denn Spalten sind bevorzugte Korrosionsstellen. Ist ein dichter Kontakt nicht möglich, so müssen die Zwischenräume mit neutralen Stoffen ausgefüllt werden.

In Bild 3 und 4 wird gezeigt, wie durch falsche Konstruktion eines Stahlgeländers starke Zerstörungen hervorgerufen worden sind. Beim Stahlgeländer lagen auf einem Flachstab beiderseitig Bleche, die durch eine Stahlklammer zusammengehalten wurden. Bei dieser Konstruktion konnte sich Regenwasser, Tau oder dgl. zwischen Blech und Stab ansammeln und nach unten vordringen. Die hierdurch bedingte Rostbildung führte zum Absprengen der Bleche von dem Flachstab und zur Lockerung.

Stehen zwei Metalle mit unterschiedlichen Potentialen in elektrolytischer Verbindung, so ist damit die Möglichkeit der Bildung von Korrosionselementen gegeben. In derartigen Elementen würde der unedlere Werkstoff anodisch stärker in Lösung gehen und der edlere Werkstoff als Kathode nicht angegriffen werden. Zum Verhüten der Kontaktkorrosion muß zwischen den beiden Werkstoffen eine elektrisch-isolierende Schicht angebracht sein.

Bild 3 und 4. Rostverteilung und Sprengwirkung des Rostes an einem Stahlgelenker.



Auch bei Berührung von Nichtmetallen/Metall ist mit Berührungskorrosion zu rechnen, so daß auch diese Stellen zur Korrosionsverhütung besondere Aufmerksamkeit und gegebenenfalls spezielle Maßnahmen erfordern.

Häufig werden in der Landwirtschaft Maschinen und Geräte z.B. bei Feldarbeiten nur kurzzeitig eingesetzt; sie kommen nach Regen naß und ungleichmäßig mit Erde behaftet in die Scheune oder bleiben im Freien. Durch die ungleichmäßige Verteilung von Feuchtigkeit und festen Teilen werden zusätzliche chemische Beanspruchungen ausgelöst. Zum Verhüten dieser Gefahr sind die Maschinen und Geräte unmittelbar nach ihrem Gebrauch sorgfältig zu reinigen und zu trocknen. Die blanken Metallteile erfordern einen kurzzeitigen Korrosionsschutz z.B. durch Einölen oder Einfetten. Zweckmäßigerweise werden die Teile dann so untergebracht, daß sie vor der direkten Einwirkung von Regen, Tau oder dgl. geschützt sind. Dieser häufige und schnelle Wechsel in den chemischen Beanspruchungen durch die Atmosphäre, durch Wasser und durch Erdreich wird in der Praxis vielfach nicht genügend beachtet und hierdurch die Lebensdauer der Teile sowie die Schutzwirkung von Überzügen herabgesetzt. Die hierfür eingesetzte Reinigung und Pflege wird sich immer bezahlt machen. In noch gründlicherer und sorgfältigerer Weise muß die Behandlung der Teile sein, wenn mit längeren Stillstandsperioden zu rechnen ist.

Beim Gebrauch sind mechanische Verletzungen der Werkstoffoberfläche nicht zu vermeiden, die gegebenenfalls zu örtlicher Korrosion führen können. Die zu wählende Oberflächenbeschaffenheit und die Korrosionsschutzverfahren sind diesen Möglichkeiten anzupassen. Besonders ungünstig wirken solche Fehlstellen in Metallüberzügen, wenn auf einem unedleren Trägermetall ein Überzug aus einem edleren Metall liegt. Der Überzug als Kathode bleibt erhalten und der Trägerwerkstoff wird örtlich angegriffen. Am zweckmäßigsten ist es deshalb, solche Schutzverfahren auszuwählen, bei denen der örtliche Angriff des Trägerwerkstoffes vermieden und die Fehlstellen an Ort und Stelle, ohne besondere Apparaturen und Behandlungen ausgebessert werden können. Selbstverständlich ist das Beseitigen der Schäden möglichst schnell nach ihrem Auftreten vorzunehmen.

Beim Ausbringen der Pflanzenschutzmittel in Staubform kann durch die Bewegung der festen Teilchen Erosion auftreten. Diese Wirkung ist besonders dann unerwünscht, wenn die Korrosionsbeständigkeit der verwendeten Werkstoffe durch Schutzschichten bewirkt wird; denn diese sind vielfach den Erosionsbeanspruchungen nicht gewachsen.

Lagerbehälter, die im Erdreich liegen, und Rohrleitungen lassen sich durch kathodischen Schutz vor ungewollten Zerstörungen schützen. Kathodische und auch anodische Korrosionsschutzverfahren können überall dort angewandt werden, wo als angreifendes

Mittel ein Elektrolyt vorhanden ist und Korrosionsströme fließen. Das Prinzip dieses Verfahrens beruht darauf, daß der Korrosionsstrom durch einen entgegenwirkenden Gleichstrom kompensiert wird. Der Schutzstrom geht entweder von einer zusätzlich angeordneten Aktivanode – auch Opferanode genannt – oder von einer stabilen Anode und dem als Kathode geschalteten zu schützenden Werkstoff unter Zuleitung von Fremdstrom aus. Da die elektrischen Bedingungen dieser Schutzverfahren gut zu überwachen und zu regeln sind, wird ein guter, sicherer Schutz erreicht, so daß der Einsatz derartiger Verfahren nur empfohlen werden kann.

### 3.4. Korrosionsschutzverfahren durch Schichten und Überzüge

#### 3.4.1. Einführung

Wirkungsvoller Korrosionsschutz ist auch dadurch möglich, daß Werkstück und angreifendes Mittel durch eine Isolierschicht voneinander getrennt werden, so daß die Isolierschicht die Abwehr gegen die chemischen Beanspruchungen übernimmt. Diese kann ihren Zweck nur erfüllen, wenn der Isolierwerkstoff gegen die jeweiligen praktischen Umweltbedingungen genügend beständig ist, wenn er dicht und genügend dick auf der Werkstückoberfläche liegt, wenn er auf dem Trägerwerkstoff genügend fest haftet und auch gegen mechanische Beanspruchungen genügend widerstandsfähig ist.

Damit die genannten Forderungen erfüllt werden können, bringt man die Schicht meistens während oder unmittelbar nach der Fertigung auf, schon um zwischenzeitliche Korrosion zu vermeiden. In den Betrieben sind ferner die Voraussetzungen gegeben, daß die Verfahren einschließlich der Vor- und Nachbehandlungen mit der erforderlichen Sorgfalt zu wirtschaftlich tragbaren Bedingungen erledigt werden. Für den Verbraucher sind deshalb die Kenntnisse über die Verfahrensweisen der Herstellung der Schichten weniger wichtig, als ihre Eigenschaften, vor allem ihre korrosionsschützende Wirkung. Zur Auswahl der jeweiligen Trennschichten in der Landwirtschaft sind deshalb nachfolgend nur die wichtigsten Gesichtspunkte aufgeführt.

Ganz allgemein gilt, daß die Eigenschaften der Schicht nur bei wenigen Herstellverfahren vom Trägermetall abhängig sind, daß dagegen in allen Fällen die Oberflächenbeschaffenheit vor dem Aufbringen der Schicht maßgebend ist. Zum Erzielen dichter und genügend hafter Schichten muß die Oberfläche metallisch rein und gegebenenfalls leicht aufgeraut sein. Fremdstoffe auf der Oberfläche würden die gleichmäßige Ausbildung der Schicht, ihre korrosionsschützende Wirkung und ihre Verankerung auf den Trägerwerkstoff stören.

Zum Erhöhen der korrosionsschützenden Wirkung und ihrer Haftfestigkeit sind insbesondere für organische Überzüge spezielle Vorbehandlungsverfahren entwickelt, von denen die Phosphatier- und Chromatisierungsverfahren am wirkungsvollsten und am verbreitetsten sind. Zum Herstellen der Schichten werden die Teile in wäßrige Lösungen, meistens kurzzeitig, eingehängt oder mit den Lösungen bespritzt, so daß auf der Werkstückoberfläche Umwandlungsschichten durch Reaktion des Trägermetalles mit dem Behandlungsmittel entstehen. Das bekannteste Beispiel über den Einsatz der Phosphatierungsverfahren ist die Behandlung von Karosserieblechen im Automobilbau. In der Landwirtschaft sollten Umwandlungsschichten überall dort eingesetzt werden, wo besondere Anforderungen an die korrosionsschützende Wirkung und die mechanische Festigkeit der Isolierschichten gestellt werden. Diese Oberflächenvorbehandlung wird zweckmäßigerweise dann auf Wunsch des Werkstückbeziehers in den Fertigungsbetrieben vorgenommen. Besonders wirtschaftlich sind die Verfahren, wenn eine größere Anzahl von Teilen mit gleichmäßigen Abmessungen und Formen zu behandeln ist [38 bis 40].

Die gute Anpassung der korrosionsschützenden Wirkung der Isolierschicht an die jeweiligen chemischen Beanspruchungsbedingungen ist durch die Auswahl der Stoffe, aus denen die Schichten hergestellt werden, und durch die Herstellungsverfahren der Schichten gegeben.

Die wichtigsten Stoffarten für Trennschichten sind:

1. organische Stoffe, wie z. B. Öle, Fette, Wachs, Lacke und andere Anstriche;
2. Metalle;
3. anorganische nichtmetallische Stoffe, wie z. B. Email, keramische Stoffe, Oxide, Karbide, Cermets.

Anorganische und organische Stoffe können außerdem in Form von Belägen, Auskleidungen, Ausmauerungen, also auch als dickere Schichten, eingesetzt werden. Ein bekanntes Beispiel hierfür in der Landwirtschaft sind Beläge bzw. Auskleidungen von Silos, da hier spezielle chemische und mechanische Beanspruchungen vorliegen, die einen hochwertigen Schutz erfordern.

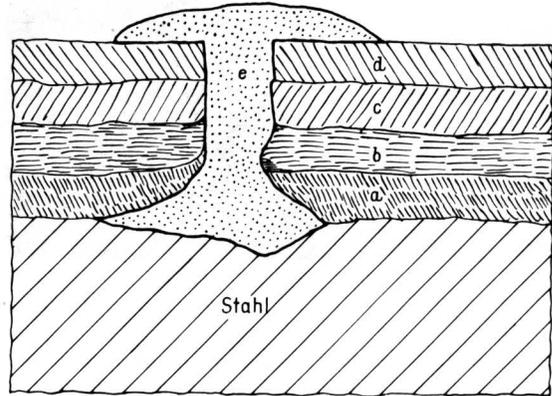
Die Isolierschichten sind zur Erfüllung ihrer Zwecke vielfach aus mehreren Schichten derselben Stoffart oder aus Schichten verschiedenartiger Stoffe aufgebaut. So unterscheidet man bei den organischen Überzügen zwischen den Reaktionsgrundierungen, die unmittelbar auf der Werkstückoberfläche aufgebracht und gegebenenfalls zum Verbessern der Haftfestigkeit mit dem Metall reagieren sollen, den Grundanstrichen, die vor allem die Haftfestigkeit zwischen Untergrund und Deckanstrich bedingen und den Deckanstrichen, die die Abwehr gegen die chemischen Beanspruchungen zu übernehmen haben. Je nach dem Zweck sind Aufbau und Struktur der Anstrichfilme unterschiedlich. Außerdem können die Grund- und Deckanstriche aus mehreren Schichten bestehen, deren Zusammensetzung und Eigenschaften genau aufeinander abgestimmt sein müssen.

Von besonderer Bedeutung für den Korrosionsschutz sind die Duplex-Schichten, die aus mehreren Belägen unterschiedlicher Zusammensetzung aufgebaut sind. Sehr wirkungsvoll für Stahl als Trägerwerkstoff ist die Kombination von Feuerverzinkung und Anstrich. Durch die Feuerverzinkung wird auf die Stahloberfläche eine verhältnismäßig dichte, gleichmäßige Zinkschicht aufgebracht, die bereits gegen normale atmosphärische Beanspruchungen einen genügenden Korrosionsschutz ausübt. Zusätzlich wird bei den Duplexverfahren die Zinkschicht durch ein Anstrichsystem vor Korrosion geschützt. Hierbei kann die Schutzwirkung des Anstriches durch seinen Aufbau den speziellen chemischen Beanspruchungen angepaßt werden. Treten Verletzungen des Anstrichfilms auf, so wird bei Abwesenheit der Zinkschicht der Trägerwerkstoff korrodiert. Es entsteht Rost, der durch seine voluminöse Beschaffenheit durch die Fehlstelle im Anstrich nach außen dringt, aber auch zwischen Anstrich und Trägerwerkstoff zu Unterrostungen führt, die den Anstrichfilm absprengen und somit stärker beschädigen. Beim Vorhandensein der Zinkschicht bleibt das Trägermetall geschützt. Es entsteht kein Rost; die Zinkkorrosionsprodukte sind weniger voluminös, so daß sie keine Sprengwirkung ausüben, Bild 5 und 6. Der Oberflächenschutz von Stahl durch Feuerverzinkung plus Anstrich wird auch in der Landwirtschaft wirkungsvoll zur Erhaltung wirtschaftlicher Werte beitragen.

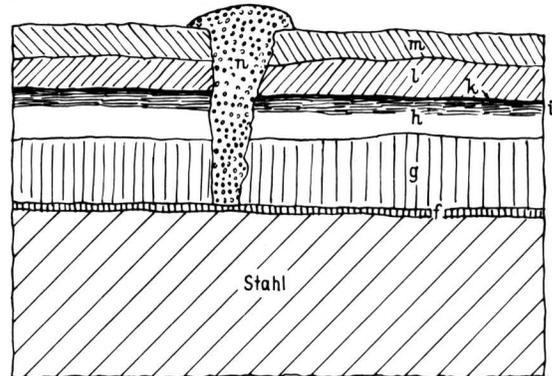
Ein Werkstoff mit besonderen Oberflächeneigenschaften, in dem die Festigkeitseigenschaften von Stahl und die Korrosionsbeständigkeit von Kunststoffen nach dem Duplex-System vereinigt sind, steht heute dem Verbraucher in der Form von kunststoffbeschichteten Stahlblech und -band zur Verfügung (Coil coating steel). Auf verzinktem Feinblech (Zinkauflage nach Feuerverzinkung 20 bis 25  $\mu\text{m}$ , nach elektrolytischer Verzinkung 2,5 bis 7,5  $\mu\text{m}$ ) wird z. B. eine Vorbehandlungsschicht (Dicke etwa 1  $\mu\text{m}$ ), ein Primer bzw. Haftvermittler (Schichtdicke etwa 5 bis 10  $\mu\text{m}$ ) und dann die Kunststoffschicht (bis zu 400  $\mu\text{m}$ ) durch Flüssigkeitsauftrag und durch Folien aufgebracht. Zum Schutz der beschichteten Bänder oder Bleche bei der Verarbeitung, Transport usw. dient ein Abziehfilm (Dicke etwa 50 bis 150  $\mu\text{m}$ ), der nach dem letzten Bearbeitungsschritt abgezogen wird, so daß beim Gebrauch eine unverletzte, frische Kunststoffoberfläche zur Verfügung steht. Beschädigungen im Film können mit einem lufttrocknenden Lack mittels Pinselauftrag leicht ausgebessert werden. Bei größeren Fehlstellen wird das Nachspritzen der Fläche mit einem Lack empfohlen, so

Bild 5 und 6. Unterschiedliche Auswirkungen von Fehlstellen in einem Anstrich auf blankem Stahl (Bild 5) und zum Vergleich in einem Anstrich auf verzinktem Stahl (Bild 6).

- |         |                      |   |   |
|---------|----------------------|---|---|
| a       | erster Grundanstrich | b | zweiter Grundanstrich                   |
| c       | erster Deckanstrich  | d | zweiter Deckanstrich                    |
| e       | Rost                 | k | Reaktionsgrundierung                    |
| f bis i | Zinkschichten        | l | erster Deckanstrich                     |
| davon f | Gammerschicht        | m | zweiter Deckanstrich                    |
| g       | Deltaschicht         | n | Korrosionsprodukte aus Zinkverbindungen |
| h       | Zetaschicht          |   |   |
| i       | Etaschicht           |   |   |



L247.05



L247.06

daß auch dann der Korrosionsschutz voll gewährleistet ist [41]. Von kunststoffbeschichteten Stahlblechen und -bändern sollte auch in der Landwirtschaft Gebrauch gemacht werden.

### 3.4.2. Überzüge aus organischen Stoffen

Die weite Verbreitung der organischen Überzüge auch in der Landwirtschaft ist auf ihre schnelle Herstellung auch an fertigen Großobjekten, auf ihre gute Korrosionsschutzwirkung und auf die Möglichkeit ihrer Ausbesserung bzw. Erneuerung zurückzuführen. Durch die Entwicklung der chemischen Großindustrie stehen genügend preiswerte und verschiedenartige Ausgangswerkstoffe zur Verfügung.

Als wesentlichste Bestandteile enthält ein Anstrichfilm: Bindemittel, Pigmente, Lösungs- bzw. Verdünnungsmittel, Weichmachungsmittel und Trockenstoffe. Sämtliche Stoffe müssen bezüglich Art und Konzentration aufeinander abgestimmt und in möglichst engen Kontakt miteinander, z. B. durch Quetschen in Mühlen, gebracht sein. Der wichtigste Bestandteil ist das Bindemittel, nach dem die Lacke vielfach benannt sind. Vom Bindemittel hängen die Eigenschaften des Films und sein Trocknungsverfahren ab. Der Übergang des Films vom flüssigen zum festen Zustand ist ein chemischer oder physikalischer Prozeß. Als klassischer Rostschutz gelten auch heute noch die Ölfarbanstriche. Neben natürlichen und künstlichen

Harzen werden ferner Phenole, Epoxide, Zweikomponentenlacke, Chlorkautschuk und Teere angewandt.

Im Schrifttum wird insbesondere auf folgende Bindemittel hingewiesen: Ölanstriche [14], Epoxide [34; 39; 42], Chlorkautschuk [28; 34], Alkyle [40; 42; 43], Vinyle [34], Furane [34]. Bei Versuchen über die Widerstandsfähigkeit gegen Dünge- und Pflanzenschutzmittel mit Überzügen aus Epoxid-Goudron, Chlorkautschuk, Alkyd-Standöl, Alkyd-Chlorkautschuk, Polymethyl- und Butylmethacrylat sowie Epoxid-Polyamide zeigten die Epoxid-Goudron-Kombinationen in 2 bis 3 Schichten (Filmdicke 400 bis 500 µm) die höchste Schutzwirkung [44]. Zinkstaubanstriche finden auch in der Landwirtschaft besondere Beachtung [45].

Das älteste und bewährteste aktive Rostschutzpigment ist Bleimennige. Von Metallstäuben haben sich Aluminium und Zink bewährt. Ein inaktives Pigment ist Eisenoxidrot. Neben der Stoffart spielt auch ihre Form eine wichtige Rolle für den Korrosionsschutz. Besonders gut schützend wirken schuppenförmige Pigmente, durch deren Lage ein verhältnismäßig dichter Abschluß des Anstrichs gegen seine Umgebend erreicht wird.

Von den modernen Verfahren zum Beschichten von Werkstücken mit organischen Pulvern wird auf das Wirbelsinterverfahren und das elektrostatische Pulverspritzverfahren hingewiesen. Zum Einsatz kommen vor allem Pulver auf Epoxidbasis, aber auch Polyester, Acrylate und Isocyanate. Die Eigenschaften der Schichten, die auf diese Weise erreicht werden können, sind in Tafel 6 verzeichnet.

Tafel 6. Eigenschaften von Schichten aus verschiedenen Beschichtungspulvern.

Pulverart	Polyesterkombinationen	hitzevernetzende Acrylatpulver	Epoxidharz-pulver	Isocyanat-pulver
Verformbarkeit	2 <sup>1)</sup>	2	1	1
Haftung	2	2	1	1
Härte	1	1	1	2
Kratzfestigkeit	1	2	1	2
Chemikalienbeständigkeit	3	3	1	3
Witterungsbeständigkeit	2	1	3	2
Abriebfestigkeit	2	2	2	2

1) 1 = gut; 2 = befriedigend; 3 = gering (nach Fleischer)

Als besondere Vorteile der modernen Verfahren werden angeführt, daß die gewünschten Schichtdicken in einem Arbeitsgang erhalten werden, daß keine Materialverluste eintreten, wenn Pulverrückgewinnungsanlagen eingesetzt werden, daß keine Lösungs- und Verdünnungsmittel benötigt werden, daß Umweltschutzprobleme entfallen und daß keine Brandgefahr besteht.

Spezielle Anstrichsysteme werden für Landmaschinen [45], für Erntemaschinen [38; 42; 46], für Traktoren [39], für Rasenmäher [40] und für Eggenmaschinen [43] angeführt, um aus dem Schrifttum nur ein paar Beispiele zu bringen.

Bei dem komplizierten Aufbau eines Anstrichfilms ist es unwirtschaftlich, wenn die Verbraucher ihre Anstrichmittel selbst aus Rohstoffen zusammenmischen würden. Die Lackindustrie verfügt heute über praktische Erfahrungen und über Herstellungsmöglichkeiten von Anstrichmitteln für die verschiedenartigsten chemischen Beanspruchungen. Der Verbraucher sollte diese Möglichkeit ausschöpfen und die von ihm benötigten Anstrichmittel in gebrauchsfertigem Zustand mit Angabe der Verarbeitungsbedingungen beziehen. Noch zweckmäßiger ist es, wenn die Werkstücke sofort mit Anstrichen bezogen werden, da die Herstellerfirmen in den meisten Fällen über

Fällen über moderne Einrichtungen verfügen, so daß durch den Einsatz spezieller Verfahren wie Wirbelsintern, elektrostatisches bzw. elektrophoretisches Lackieren Schichten mit optimaler korrosionsschützender Wirkung erhalten werden. Bei der Bestellung sind vom Verbraucher genaue Angaben über die zu erwartenden chemi-

schen und mechanischen Beanspruchungen erforderlich, damit der Lackfabrikant das Zweckentsprechendste liefern kann.

In der Landwirtschaft spielt der kurzzeitige Korrosionsschutz eine besondere Rolle. Nach kurzzeitigem Gebrauch stehen Maschinen und Geräte still. Nach dem Gebrauch sind zur Korrosionsverhütung die blanken Metallteile zu reinigen, zu trocknen und vor Korrosion zu schützen. Zum kurzzeitigen Korrosionsschutz dienen vor allem Öle und Fette, die spezielle Zusätze von Korrosionsschutzmitteln und Inhibitoren enthalten. Wirkungsvoll sind emulgierbare Öle; denn diese nehmen Wasser auf und beseitigen damit seine zusätzliche aggressive Wirkung. Ist auch mit mechanischen Beanspruchungen zu rechnen, so sind zum Schutz plastische, schmierfettartige Mittel wie z. B. Ceresin, Paraffin, Wollfett, Wachse geeignet. Während Paraffin in der Kälte seine Plastizität verliert, bleibt Ceresin weich und elastisch. Unter den Bezeichnungen Korrosionsschutzöle und Korrosionsschutzfette sind derartige Mittel handelsüblich. Bei ihrer Bestellung sind Angaben über den Verwendungszweck, über die Aufbringungsmöglichkeiten der Mittel und ihre Viskosität erforderlich. Über die Korrosionsschutzmittel auf Mineralölbasis sind von der Bundeswehr die vorläufigen technischen Lieferbedingungen VTL 8030 und 9150 herausgegeben.

### 3.4.3. Überzüge aus Metallen

In der Landwirtschaft überwiegt bei weitem der Einsatz metallischer Überzüge zum Korrosionsschutz. Von den Herstellungsverfahren der Metallüberzüge sind nur die beachtenswert, durch die dichte, genügend dicke und haftfeste Überzüge von hoher Korrosionsbeständigkeit erhalten werden. Plattierverfahren, die vielfach in der chemischen Industrie eingesetzt werden, sind für die Landwirtschaft nur in besonderen Fällen anwendbar, da andernfalls der Korrosionsschutz zu teuer würde. Als Überzugmetalle kommen nur diejenigen in Betracht, die einen genügenden Korrosionsschutz bieten. Bei Stahl als Trägerwerkstoff ist erwünscht, daß die Überzugmetalle unedler als das Trägermetall sind, damit bei Undichtigkeiten im Überzug das Überzugsmetall anodisch in Lösung geht und der Grundwerkstoff kathodisch geschützt bleibt. Bei Überzügen aus edleren Metallen ist bei Gegenwart eines Elektrolyten an den Fehlstellen im Überzug mit Lochfraß zu rechnen.

Für die Auswahl des Überzugsmetalle gelten die gleichen Richtlinien wie für kompakte Metalle. Das wichtigste Überzugsmetall für Stahl in der Landwirtschaft ist Zink, da bei den Beanspruchungen durch die Atmosphäre und Wasser auf Zink Schutzschichten entstehen, die seine Korrosion wesentlich vermindern. Auf den zusätzlichen Schutz von Zink in Duplexverfahren wurde bereits hingewiesen. Die wichtigsten Herstellungsverfahren für Zinküberzüge sind: Schmelztauchen, elektrolytische Abscheidung und Aufspritzen. Bei den erforderlichen Einrichtungen zur Durchführung der beiden zuerst genannten Verfahren geschieht das Aufbringen der Überzüge in den Lieferwerken. Dem Besteller obliegt es vor allem, seine Wünsche bezüglich der Schichtdicke anzugeben, da hiervon die Lebensdauer der Teile im wesentlichen abhängt. Die Entstehung von „weißem Rost“ wird zweckmäßigerweise durch Chromatieren oder Phosphatieren verhindert.

Spritzüberzüge können auch an fertigen Objekten nach entsprechender Vorbehandlung aufgebracht werden. Durch ihre Struktur sind derartige Überzüge ein guter Haftgrund für Anstriche.

Zinküberzüge haben ferner den Vorteil, daß Fehlstellen im Überzug durch Zinkstaubanstriche ausgebessert werden können. Damit an diesen Stellen ein guter Korrosionsschutz erhalten wird, muß das Aufbringen des Anstrichs auf eine saubere, möglichst metallreine Oberfläche erfolgen.

Von den unedleren Metallen kommt als Überzugwerkstoff auf Stahl noch Aluminium in Betracht. Mengenmäßig ist jedoch die Anwendung von Aluminiumüberzügen in der Landwirtschaft wesentlich geringer als die von Zink. Zu ihrer Herstellung wird vielfach das Spritzverfahren eingesetzt. Neben dem Schutz gegen atmosphärische Korrosion dienen Aluminiumüberzüge vielfach zum Schutz gegen heiße Gase, also z. B. zur Verhütung der Verzunderung von Stahl. Da derartige Beanspruchungen nur an einigen Geräteteilen in der Landwirtschaft vorkommen, genügt dieser Hinweis.

Von besonderer Bedeutung in der Landwirtschaft sind noch Zinnüberzüge, deren Hauptanwendung in Form von Weißblech für die Konservenindustrie wesentlich ist. Ähnlich wie bei Zinküberzügen erfolgt ihre Herstellung durch Schmelztauchen oder durch elektrolytische Abscheidung. Zur Verhütung von örtlichen Anfrassungen müssen die Schichten dicht und genügend dick sein. Gegebenenfalls kann das Anlaufen von Zinnschichten durch eine dünne Lackschicht verhindert werden.

Nickel- und Chromüberzüge dienen im wesentlichen nur dekorativen Zwecken. Sie werden in der Hauptsache auf elektrolytischem Wege hergestellt; um eine genügend lange Lebensdauer von vernickelten und verchromten Teilen zu erreichen, ist eine sorgfältige Pflege wichtig. Da derartig behandelte Teile im Automobilbau in großer Menge eingesetzt werden, sind hierfür spezielle Pflegemittel entwickelt worden, die dann in gleicher Weise auch in der Landwirtschaft angewandt werden können.

#### 3.4.4. Überzüge aus nichtmetallischen, anorganischen Stoffen

Im täglichen Leben kommt man häufig mit Erzeugnissen aus emailliertem Stahl, wie Kochgeschirren, Herd- und Ofenplatten, Warmwasserbereitern und Badewannen, in Kontakt. Hierbei handelt es sich um Schichten, die durch Schmelzen von Email auf den Werkstückoberflächen erhalten werden. Unter Email versteht man eine anorganische, vorzugsweise glasartig erstarrte, getriebene Masse, die sich durch eine verhältnismäßig hohe Korrosionsbeständigkeit gegen Säuren und neutrale wässrige Lösungen auszeichnet. Normalerweise werden Grund- und Deckemailschichten aufgebracht, nachdem die zu emailierenden Gegenstände zweckentsprechend vorbehandelt sind. Dem Grundemail sind meistens noch Haftoxide zugesetzt, um eine gute Bindefähigkeit zu dem Trägermetall zu gewährleisten. Die Deckemail enthält Zusatzstoffe, die die Korrosionsbeständigkeit gewährleisten.

Als wichtigste Rohstoffe für Email dienen feuerfeste Stoffe (z. B. Quarz, Feldspat, Aluminiumoxid, Ton), Flußmittel (z. B. Borax, Pottasche, Kalkspat), Vorrübungsmittel und Hilfsstoffe. Durch den Quarzgehalt ist die Säurebeständigkeit bedingt, der in säurefestem Email etwa 60 bis 70 % beträgt. Auch Titandioxid ist ein säurefester Zusatzstoff. Durch die Variation in der Zusammensetzung und Herstellung der Emailfritte wird die korrosionsschützende Wirkung der Schicht den jeweiligen Gebrauchsbedingungen angepaßt. Von besonderem Interesse sind die säurefesten, die waschmittelbeständigen und die witterungsbeständigen Email. Bei Grund- und Deckemailschichten soll ihre Dicke etwa 0,35 mm betragen.[47].

Emailschichten neigen vielfach zum Abplatzen. Aus diesem Grund soll der Trägerwerkstoff genügend dick sein, um den zu erwartenden Zug- und Druckspannungen zu widerstehen und um die Emailschicht vor mechanischen Beanspruchungen zu schützen. Die Oberfläche von Emailschichten ist verhältnismäßig glatt; sie bietet also dem angreifenden Mittel eine kleine Angriffsfläche. Ablagerungen auf Emailschichten sind verhältnismäßig leicht zu entfernen. Reinigungsmittel für emaillierte Teile sollen nicht zu stark alkalisch sein, da Email gegen Alkali und Flußsäure am wenigsten widerstandsfähig ist. Weitere Schutzüberzüge auf der Emailschicht sind nicht erforderlich und da die Schicht durch Zusätze ohne Verminderung ihrer korrosionsschützenden Wirkung eingefärbt werden kann, werden emaillierte Teile auch dort eingesetzt, wo an ihr Aussehen und an ihre Korrosionsbeständigkeit – z. B. für Fassadenverkleidungen – spezielle Anforderungen gestellt werden.

Von anderen Überzügen aus anorganischen Stoffen sind Zinksilikatanstriche wegen ihrer guten Korrosionsbeständigkeit zu erwähnen. Als Bindemittel dienen spezielle Alkalisilikate, die mit Zinkstaub hoch pigmentiert werden. Ihre Schichtdicke soll etwa 100 µm betragen. Neben ihrer Korrosionsbeständigkeit sind sie auch verhältnismäßig abriebfest.

Wasserglashaltige Anstriche dienen auch zur Oberflächenbehandlung von Natursteinen, Beton und anderen Baustoffen. Durch die Kohlensäure der Luft scheidet sich aus der wasserglashaltigen Lösung kolloidale Kieselsäure ab, die mit der Zeit erhärtet und den festen Überzug bildet.

Oxide, Silicide, Cermets u. a. dienen im wesentlichen zum Schutz gegen Oxidation bei hohen Temperaturen und gegen Verschleiß. Da in landwirtschaftlichen Betrieben im allgemeinen nicht mit Hochtemperaturkorrosion zu rechnen ist, erübrigt sich ihr Einsatz.

#### 3.4.5. Korrosionsschutz durch dickere Beläge, wie Auskleidungen und Verbundwerkstoffe

Genügen bei chemischen Beanspruchungen die vorstehend beschriebenen Schichten wegen ihrer geringen Dicke nicht, so besteht die Möglichkeit, auf den Trägerwerkstoff auch dickere Schichten oder Beläge aufzubringen. Die auf diese Weise erhaltenen Werkstoffe werden vielfach mit Verbundwerkstoff bezeichnet. Als Trägerwerkstoffe dienen: Metalle – Beton – Steine – Holz – Kunststoffe und als Belag: Organische Stoffe, vor allem Kunststoffe – Metalle – anorganische, nichtmetallische Stoffe, vor allem Zement, säurefeste Steine. Bei diesen Verbundwerkstoffen sollen die Eigenschaften von zwei oder mehreren Stoffen eng und unzertrennbar miteinander verbunden und ausgenutzt werden. Hierbei gelten im allgemeinen, daß der Trägerwerkstoff die mechanischen Beanspruchungen übernimmt und die Außenschicht ihre Korrosionsbeständigkeit.

Eine weitere Möglichkeit, dicke und dichte Schichten zu erzeugen, ist das Aufbringen von Folien aus organischen Stoffen wie z. B. von Polyvinylchloriden, die sich auch verschweißen lassen. Zum Korrosionsschutz dienen ferner Gummi- und Kautschukauskleidungen, die aus Hart- oder Weichgummi oder aus synthetischen Kautschukharzen bestehen. Als „Moellerit“-Verfahren lassen sich mit einer Zweidüsen-Pulver-Kaltspritzpistole sowohl grob- als auch feinkörnige Stoffe mit einem Bindemittel verspritzen.

Durch Variation der Art der Füllstoffe, der Bindemittel und ihrer anteiligen Menge können die Eigenschaften der Schicht weitgehend den zu erwartenden chemischen und mechanischen Beanspruchungen angepaßt werden. Da als Füllstoffe Glas, Glimmer, Siliciumcarbide u. ä. dienen, werden hierdurch hohe Verschleißfestigkeiten erreicht.

An Ort und Stelle können plastische Korrosionsschutzbinden aufgebracht und damit an den unwickelten Stellen ein wirksamer Korrosionsschutz erreicht werden. Hauptanwendungsgebiet ist der Korrosionsschutz der Außenseiten von Rohren, Armaturen, Behältern und dgl. Außer Naturfasern sind zum Herstellen der Schutzbinden in zunehmendem Maße synthetische Kunststofffasern im Gebrauch. Als Schutzmasse dienen vaselineartige Kohlenwasserstoffe mit Inhibitoren und feinpulvrigen Silikaten, ferner bituminöse Massen verschiedenartiger Zusammensetzung und Kunststoffe. Auch „Tesa“-Filme können zum Korrosionsschutz eingesetzt werden. Derartige Filme werden u. a. benutzt, um die bereits oberflächenbehandelten Teile während der Lagerung und der Bearbeitung vor Verschmutzung und Korrosion zu schützen. Da Binden und Filme in ihrer Anwendung keine besonderen Erfahrungen benötigen und ihr Einsatz nicht ortsgebunden ist, eignen sie sich besonders auch in der Landwirtschaft zum schnellen, kurzzeitigen, aber auch langzeitigen Korrosionsschutz und zum Ausbessern von Fehlstellen in Überzügen, die sonst zu starken örtlichen Anfrassungen führen.

Die bekanntesten metallischen Verbundwerkstoffe werden – wie oben erwähnt – durch das Plattieren des Trägerwerkstoffes mit dem Überzugsmetall hergestellt. Als Trägerwerkstoffe dienen in der Hauptsache rostempfindliche, unlegierte Stähle, die mit säurefesten Stählen, Nickel, Nickellegierungen, Silber oder Titan überzogen werden. Auf dem Gebiet der Leichtmetalle wird die Korrosionsbeständigkeit der Legierungen der Gattung AlCuMg, die besonders korrosionsempfindlich sind, durch Plattieren mit Reinaluminium bzw. einer kupferfreien Aluminiumlegierung erreicht. Dem Landwirt werden im allgemeinen die plattierten Werkstoffe zum Gebrauch fertig geliefert.

Gegebenenfalls ist bei derartigen Teilen der Kantenschutz zu beachten, da in den Schnittkanten edleres und unedleres Metall nebeneinander liegen und damit die Gefahr der Bildung von Korrosionselementen durch Kontaktkorrosion gegeben ist.

Bei den Verbundwerkstoffen mit anorganischen Außenschichten spielen Beläge aus Zement, Beton und dgl. sowie Ausmauerungen mit säurefesten Material eine besondere Rolle. Die korrosionsschützende Wirkung von Beton auf Stahl wird in großem Umfange beim Spannbeton ausgenutzt. Zum Korrosionsschutz ist wichtig, daß die Betonschicht genügend dicht und dick ist, damit Feuchtigkeit von Stahl ferngehalten und die Auslaugung des Betons, d.h. die Beseitigung der alkalisch reagierenden Auslaugelösung, verhindert wird. Bei Stahlkonstruktionen können schwer zugängliche Ecken oder andere Stellen mit Zementbrei zum Korrosionsschutz ausgeschmiert werden.

Bei Auskleidungen mit säurefesten Steinen oder dgl. ist die Abdichtung des Untergrundes und das Ausfüllen der Fugen besonders wichtig, um einen genügenden Korrosionsschutz zu erreichen. Zum Abdichten gegen den Untergrund haben sich im allgemeinen Bitumschichten bewährt. Fugen sind mit Kittungen auszufüllen und abzudichten. Je nach den zu erwartenden chemischen Beanspruchungen kann man hierbei Wasserglas- oder Kunstharzkitte einsetzen, von denen die letzteren die größere Korrosionsbeständigkeit aufweisen. Solche Ausmauerungen werden in der Landwirtschaft vor allem in Silos zum Schutz gegen die stärker angreifenden, sauren Futtermittel eingesetzt. Gegebenenfalls dienen in Silos und anderen Großbehältern auch Kunststoffe zum Korrosionsschutz [9].

#### 4. Zusammenfassung

Korrosionsprobleme gewinnen somit auch in der Landwirtschaft zunehmend an Bedeutung. Die üblichen chemischen Beanspruchungen von Maschinen, Geräten und Zubehör durch Atmosphäre, Wasser und Erdreich werden immer stärker zusätzlich durch die Umweltverschmutzung sowie durch den Einsatz von natürlichen und künstlichen Stoffen zur Ertragssteigerung, zum Pflanzenschutz und zur Schädlingsbekämpfung erhöht. Erst wenn die Ursachen der Korrosion für jeden Einzelfall geklärt sind, können wirkungsvolle Gegenmaßnahmen ergriffen werden [48].

#### Schrifttum

- [1] Tödt, F.: Korrosion und Korrosionsschutz. 2. Aufl. Berlin: Verlag Walter de Gruyter. 1961.
- [2] DECHEMA: Werkstoff-Tabelle. Frankfurt/M.: Deutsche Gesellschaft für Chemisches Apparatewesen.
- [3] Beratungsstelle für Stahlverwendung: Betriebsgebäude aus Stahl für die Landwirtschaft. Merkblatt Nr. 163. Düsseldorf: Selbstverlag. 4. Aufl. 1969.
- [4] Deutscher Verzinkerei-Verband: Feuerverzinktes Stahlblech für die Landwirtschaft. Düsseldorf: Selbstverlag.
- [5] Liebe, H.P.: Aluminium in der Landwirtschaft. Aluminium 39 (1963) Nr. 2, S. 118/19.
- [6] Werminghausen. Kunststoffe in Landwirtschaft und Gartenbau. Kunststoffe 54 (1964) S. 649/54; 55 (1965) S. 391.
- [7] Beratung Feuerverzinken: Der ideale Korrosionsschutz im Gartenbau. Hagen: Selbstverlag.
- [8] Beratungsstelle für Stahlverwendung: Zäune, Gitter, Tore. Merkblatt Nr. 428. Düsseldorf: Selbstverlag. 1968.
- [9] von Mildenstein, M.: Kunststoffbeschichtungen für Silos und andere Großbehälter. Aufbereitungs-Techn. 6 (1965) H. 2, S. 96/100.
- [10] Bandet, P.: Leichtmetallrohre bringen künstlichen Regen. Rev. Aluminium 33 (1956) Nr. 228, S. 61/66.
- [11] Klas, H., u. H. Steinrath: Die Korrosion des Eisens und ihre Verhütung. Düsseldorf: Verlag Stahleisen 1956.
- [12] Steinrath, H.: Über die Beurteilung der Korrosionsgefährdung von Eisen und Stahl im Erdboden. Gas- u. Wasserfach 109 (1965) H. 49, S. 1361/65.
- [13] Slunder, C.J., u. W.K. Boyd: Zinc, its corrosion resistance. 1971. London: Zinc Development Association.
- [14] White, E.E.: Rostung und die sich daraus ergebende Belastung der Landwirtschaft. Corr. Technology 4 (1957) Nr. 12, S. 413/16.
- [15] Zickler, E., u. E. Biermann: Die Landwirtschaft als Kunde der Chemie. Chem. Ind. (1966) Nr. 6, S. 302/07.
- [16] Wegler, R.: Chemie der Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel. Bd. I: Einführung, Insektizide, Chemosterilantien, Repellents, Lockstoffe, Akarizide, Nematizide, Vogel- bzw. Säugetierabschreckungsmittel, Rodentizide Band II: Fungizide, Herbizide, Natürliche Pflanzenwuchsstoffe, Phytohormone, Rückstandsprobleme. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1970.
- [17] Beratungsstelle für Stahlverwendung: Pflanzenpflege, Pflanzenschutz. Merkblatt Nr. 284. 2. Aufl. Düsseldorf: Selbstverlag 1965.
- [18] Demiančok, J.: Werkstoffe mit ausreichender Beständigkeit gegen verschiedene kombinierte Düngemittel. Korozije ochrana materijalu 8 (1964) H. 3, S. 64/66.
- [19] Ungenannt: Hersteller von flüssigen Düngemitteln berichtet: fast unbegrenzte Lebensdauer von Tanks aus Stahl 304. Inco Nickel Topics 16 (1963) Nr. 3, S. 1,9.
- [20] Makarova, A.V.: Die Korrosionsfestigkeit von nickelfreien Stählen und von Stählen mit geringem Nickelgehalt bei der Herstellung von Kunstdünger und Ammonsalpeter. TIB Z 756 (1966) H. 12, S. 20/21.
- [21] Mannesmann AG: ABC der Stahlkorrosion 2. Aufl. 1966. Düsseldorf: Selbstverlag.
- [22] Schaffer, T.F. Jr.: Stainless steels in liquid fertilizer service. Materials Protection 2 (1963) H. 8, S. 8/10, 14/17.
- [23] Podbreznik, F.: Der Schutz von Kompostverteiltern und anderen Geräten gegen den Einfluß landwirtschaftlicher Chemikalien. Zastita materijala 5 (1957) 331/6; n. C.A. 53 (1959) 9538 f.
- [24] Marshall, T., u. L.G. Neubauer, Corrosion of aircraft structural materials by agricultural chemicals. Corr. 11 (1955) H. 2, S. 44/52.
- [25] Abasova, J. u.a.: Faltbare Gummibehälter für flüssige Düngemittel. Chem. u. Ind. (Bulgarien) 38 (1966) H. 8, S. 345/49.
- [26] Ungenannt: Beständig gegen Korrosion durch flüssige Düngemittel. Inco Nickel Topics 15 (1962) Nr. 1, S. 10.
- [27] Perrone, A.: Applications of Aluminium in Agriculture. Alluminio 26 (1957) Nr. 5, S. 216/19.
- [28] Popa, C., u. T. Constantinescu: Korrosionsfeste Chlorkautschuküberzüge für die Phosphatdüngerindustrie. Rev. Chim. (Bukarest) 15 (1964) S. 298.
- [29] Demiancock, J. NPK-Dünger-Aufschwemmungen und ihre Korrosivität. Techn. Chem. (Prag) 14 (1964) S. 118/21.
- [30] Kempf, Th., u. D. Lüdemann: Gefährdung des Biotops Wasser durch Quecksilber und seine Verbindungen. Bundesgesundheitsblatt 14 (1971) Nr. 15/6, S. 225/28.
- [31] Lancaster Laboratories Inc: Synthese u. Beurteilung neuer Fungizide auf Kupferbasis. Research and Development Report Nr. 35 (1965); Ref: Kupfer-Mitt. 9 (1966) S. 204.
- [32] Lichtenberger, E.: Einwirkung von Pflanzenschutzmitteln auf Aluminium. Kohaszati Lapok 12 (90) (1957) S. 554/58.
- [33] Steinrath, H., u. N. Niediek: Über die Korrosion feuerverzinkter Bandstrahlrohre durch Pflanzenschutzmittel und Magnesiumsulfat. Der Erwerbsobstbau 4 (1962) H. 7, S. 128/30.
- [34] Schreiber, C.H.F.: Corrosion of Aircraft Structural Materials by Agricultural Chemicals. 2. Effect of Insecticides, Herbicides, Fungicides and Fertilizers. Corr. 11 (1955) H. 3, S. 119/30 t; Agr. Chemic. 10 (1955) Nr. 9, S. 49, 51, 53 u. 126/28.
- [35] Ungenannt: Captan, ein neues Pflanzenschutzmittel. Wiggin Nickel Rdsch. (1957) Nr. 12, S. 18/19.
- [36] Ungenannt: Chemikalien und landwirtschaftliche Geräte. Corr. Technology 5 (1958) Nr. 4, S. 100.
- [37] Lutz, C.W.: Flüssige, gegen Korrosion inhibierte Düngemittel. USA. P.319 7301; Ref.: Werkstoffe u. Korrosion 18 (1967) H.3.
- [38] Toles, G.E.: Dauerhafte Schutzlackierung großer Erntemaschinen. Ind. Finishing 40 (1964) Nr.12, S.58/62.

- [39] Ungenannt: Zur Lackierung von Traktoren. Paint Oil Col. J. 146 (1964) Nr. 3451, S. 1236; Ind. Finishing (London) 17 (1965) Nr. 202, S. 34/35; Paint Technology 30 (1966) Nr. 11, S. 23.
- [40] Stinson, A.: Lackierung von Rasenmähern. Ind. Finishing 35 (1959) Nr. 5, S. 22/28.
- [41] Beratungsstelle für Stahlverwendung: Kunststoffbeschichtetes Stahlblech und -band. Merkblatt Nr. 325, 3. Aufl. Düsseldorf: Selbstverlag 1970.
- [42] Chandler, R.B.: Corrosion protection for farm machinery. Corr. Protection a. Control 8 (1961) Sept.-H., S. 33/35, 41.
- [43] Gladstone, J.R.: Elektrophoretische Lackierung von Eggen-scheiben. Canad. Paint Finishing 40 (1966) Nr. 8, S. 24/27, 63/64.
- [44] Häckl, V.J., u. O. Libor: Epoxy-Teer-Schutzüberzüge im Ackerbau. Chimie des Peintures 29 (1966) Nr. 3, S. 85/86.
- [45] Reinsch, H.H.: Witterungsbeständige Anstriche für Landma-schinen. Landmaschinenmarkt 39 (1960) Nr. 22, S. 1 111/4; Ind.-Lackier-Betr. 28 (1960) Mai-H., S. 154/55.
- [46] Gladstone, J.R.: Schutzlackierung von Erntemaschinen im Gieß- und elektrostatischen Verfahren. Canad. Paint Finishing 40 (1966) Nr. 3, S. 34/35.
- [47] Sanders, H.J., u. R.F. Prescott: 2,4-D-Unkrautvernichtungs-mittel und Derivate. Ind. Engegn. Chem. 51 (1959) Nr. 9, Tl. 1, S. 974/80.
- [48] Wiederholt, W.: Korrosion und Korrosionsschutz. VDI-Z 111 (1969) Nr. 9, S. 617/22; Nr. 13, S. 873/80; Nr. 16, S. 1153/59; Nr. 21, S. 1542/46; Nr. 22, S. 1606/07; VDI-Z. 112 (1970) Nr. 3, S. 187/93; Nr. 8, S. 529/34; Nr. 10, S. 661/66; Nr. 16, S. 1113/19; Nr. 18, S. 1253/57; Nr. 20, S. 1385/89; Nr. 24, S. 1665/71; VDI-Z. 113 (1971) Nr. 4, S. 303/07; Nr. 8, S. 622 S. 622/26; Nr. 10, S. 804/08; Nr. 13, S. 1030/33; Nr. 16, S. 1281/86; Nr. 17, S. 1369/75.

## Ausgewählte Dissertationen

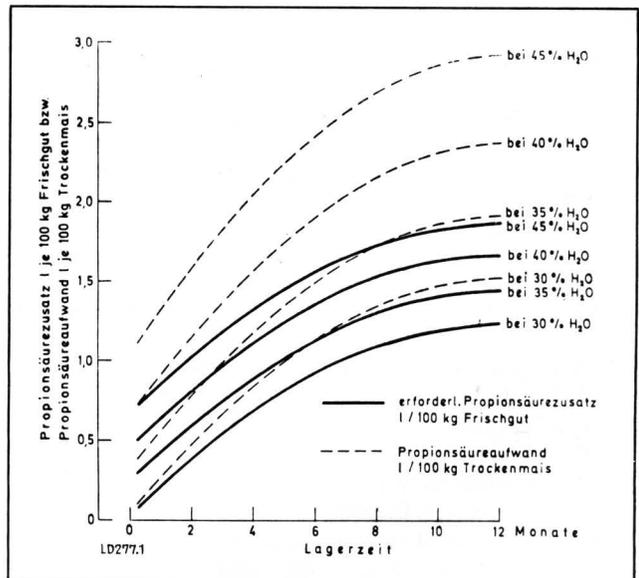
### Die Feuchtmalkonservierung mit Propionsäure – Eine produktionstechnische und betriebswirtschaftliche Untersuchung

Körnermais wird in der BRD i.d.R. mit Feuchtegehalten von 35 bis 45 % H<sub>2</sub>O geerntet. Bei derart hohen Wassergehalten ist eine sofortige Konservierung des Druschgutes erforderlich, da es sich bereits nach relativ kurzer Lagerzeit stark erwärmt; dies hat hohe Nährstoffverluste und Qualitätseinbußen zur Folge. An Hand umfangreicher Versuche wird die Möglichkeit geprüft, erntefeuchten Körnermais durch den Zusatz von Propionsäure (CH<sub>3</sub> CH<sub>2</sub> COOH) zu konservieren. Ferner werden die Verwertungsmöglichkeiten sowie die betriebswirtschaftlichen Aspekte des Verfahrens im Vergleich zu konkurrierenden Methoden (Trocknung und Einsilierung) untersucht.

Die Versuche haben gezeigt, daß eine Konservierung von erntefeuchtem Körnermais durch Propionsäurezusatz möglich ist. Dabei ist der erforderliche Säurezusatz abhängig vom Wassergehalt des Frischgutes und von der Lagerdauer. Fütterungsversuche mit wachsenden Schweinen zeigten, daß propionsäure-konservierter Feuchtmals deutlich besser verwertet wird als getrocknete Ware; gegenüber siliertem Gut ergab sich eine geringfügig bessere Verwertbarkeit. Ein Einfluß auf Schlachtleistung und Fleischqualität konnte nicht festgestellt werden. Die Berechnung der Kosten des untersuchten Verfahrens und der Vergleich mit den konkurrierenden Methoden Trocknung und Einsilierung ergaben, daß bei einer innerbetrieblichen Verwertung des Körnermais die Konservierung mit Propionsäure auf Grund des niedrigen Investitionsbedarfes und des äußerst geringen Arbeitsbedarfes in vielen Fällen den anderen erwähnten Verfahren überlegen ist.

Unterzolling

Dr.-Ing. agr. Karl Peter Hieb



(TU München 1971. Ber.: Prof. D.D.P. Rintelen; Prof. D.M. Kirchgößner.)

Die Dissertation wurde veröffentlicht in: Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch, 49. Jahrgang, Heft 5/1972, S. 527/640.



© VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1973  
Hauptschriftleitung: Dr.-Ing. W. Rickers, Düsseldorf

Printed in Germany. Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil dieser Schriftenreihe darf in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikrokopie oder ein anderes Verfahren – ohne schriftliche Genehmigung des Verlages, auch nicht auszugsweise, reproduziert werden. – All rights reserved (including those of translation into foreign languages). No part of this issue may be reproduced in any form, by photoprint, microfilm, or any other means, without written permission from the publishers. – Herstellung: Brinck & Co KG, Essen.