

# Applikation von Markierungsstoffen mit automatischer Konstanthaltung der Schichtdicke

Frank Hofmann

Eine seit langem geforderte längst fällige Entwicklung einer Markierungsmaschine, die mit einer wegeabhängig angetriebenen Pumpe zur statischen Förderung des Markierungsstoffes ausgerüstet ist, konnte jetzt abgeschlossen werden. Damit gibt es in Zukunft wesentlich verbesserte technische Möglichkeiten, die geforderten Markierungsschichtdicken in Leitlinienlängsrichtung unabhängig von den bisherigen Einflußfaktoren einzuhalten.

Überreicht durch



**STRASSENMARKIERTECHNIK**

# Applikation von Markierungsstoffen mit automatischer Konstanthaltung der Schichtdicke

Frank Hofmann

Seit in den zwanziger Jahren zum erstenmal Straßen mit Verkehrsleitlinien versehen wurden, sind die für Straßenmarkierung eingesetzten Spezialmaschinen immer vollkommener und leistungsfähiger geworden. Am Prinzip bei der Applikation spritzbarer flüssiger Markierungsstoffe hat sich dagegen kaum etwas geändert. Bei dem überwiegenden Anteil der Maschinen fließt der Markierungsstoff aus einem luft- oder gasdruckbeaufschlagten Vorratsbehälter einer Spritzpistole zu, über die der Markierungsstoff in möglichst gleichmäßiger Verteilung auf die Fahrbahnoberfläche gelangt. Bei anderen Systemen wird der Markierungsstoff drucklosen Vorratsbehältern entnommen und mit Hilfe von Pumpen gegen ein Druckregelventil

gefördert, mit dessen Hilfe der gewünschte Spritzdruck eingestellt wird. Bei den Pumpen handelt es sich in der Regel um druckluftbetriebene Kolbenpumpen mit Windkesseln zur Pulsationsdämpfung. Die Spritzpistole wird über eine Sticheitung von dem druckbeaufschlagten Förderstrom zwischen Pumpe und Druckregelventil gespeist. Die Fördermenge der Pumpe muß stets größer sein als der Verbrauch der Spritzpistole, da sonst der durch das Druckregelventil eingestellte Spritzdruck nicht aufrechterhalten wird. Die Überschußmenge gelangt nach Passieren des Druckregelventils in den Vorratsbehälter zurück.

Allen Systemen gemeinsam ist dabei die Abhängigkeit der aus der Spritzpistole pro Zeiteinheit austretenden Markierungsstoffmenge, im folgenden Durchfluß genannt, von

folgenden Einflußgrößen:

1. Druck des Markierungsstoffes
2. Widerstand (Querschnittsverhältnisse) von Spritzpistole und Leitungen
3. Viskosität des Markierungsstoffes
4. Druck der Zerstäuberluft (nur, wenn der Markierungsstoff mit Hilfe von Druckluft verspritzt wird, also nicht bei Airless-Systemen).

Ändert sich nur eine dieser Einflußgrößen, so ändert sich auch der Durchfluß des Markierungsstoffes durch die Pistole.

Aber gerade der Durchfluß zusammen mit der Geschwindigkeit der Markiermaschine sind bestimmend für den Verlauf der Spritzschichtdicke in Fahrtrichtung. Um eine in Fahrtrichtung konstante Schichtdicke zu erzielen, muß der Durchfluß durch die Pistole proportional zur Geschwindigkeit der Maschine sein. In der Praxis bemüht man sich, die Maschinengeschwindigkeit und den für eine bestimmte Schichtdicke bei dieser Geschwindigkeit erforderlichen Durchfluß möglichst konstant zu halten. Die Einhaltung einer konstanten Geschwindigkeit ist bei einer mit einem Tachometer ausgerüsteten Maschine kein großes Problem. Die Einhaltung eines konstanten Durchflusses ist schon problematischer. Während sich von den vier genannten, den Durchfluß bestimmenden Einflußgrößen der Druck des Markierungsstoffes und der Druck der Zerstäuberluft durch einfache Druckregler konstant halten lassen, ist die Viskosität des Markierungsstoffes nur sehr schwer zu überwatchen. Die Viskosität ist beispielsweise abhängig von der Temperatur des Markierungsstoffes. Je nach Umgebungsverhältnissen unterliegt der Markierungsstoff während des Arbeitstages mehr oder weniger starken Temperaturschwankungen. Die Viskosität kann sich ferner ändern durch Zusatz von Lösemitteln, durch Rühren (Ablagerung von Feststoffen), durch Nachfüllen von wärmerem oder kälterem Markierungsstoff usw. Zur Überwachung der Viskosität bedarf es häufiger zeitaufwendiger Probenentnahmen aus dem Vorratsbehälter. Der Widerstand von Leitungen und Spritzpistole dagegen kann mit den in der Praxis zur Verfügung stehenden Mitteln überhaupt nicht überwacht werden. So ist es demnach möglich, daß trotz exakter Einhaltung aller kontrollierbaren Maschineneinstellungen und trotz Einhaltung der Viskosität des Markierungsstoffes sich der Durchfluß und damit die Schichtdicke der Markierung fortwährend ändern oder — im Extremfall — gar zu Null werden, wenn sich die Leitungswiderstände beispielsweise durch Ablagerungen verändern oder wenn — im Extremfall — eine Blockierung durch Totalverstopfung auftritt. Die aufmerksamste Überwachung aller Maschineneinstellungen und der Viskosität ist dadurch in ihrer Wirksamkeit auf die Qualität der Markierung stark herabgesetzt.

Die möglichst häufige Spritzprobennahme mit Messung der Schichtdicke und der entsprechenden Nachjustierung der Maschineneinstellung ist bisher noch die einzige Möglichkeit einer Schichtdickenüberwachung. Die Praxis scheint zu beweisen, daß dieser mühsame, zeitaufwendige und häufige Arbeitsunterbrechungen verursachende Weg nicht sehr geschätzt wird. Es wird häufig Klage darüber geführt, daß die mit erheblichem technischen Aufwand erreichten Soll-Schichtdicken der anlässlich der Zulassungsprüfungen aufgebrauchten Markierungsmuster in der täglichen Praxis oft nicht eingehalten werden. Aus dem Voranstehenden wird erklärlich, warum dies mit so großen Schwierigkeiten verbunden ist.

Aus diesen verständlichen Gründen verstärkt sich in den letzten Jahren der Ruf nach weiterentwickelter maschineller Ausrüstung. Verschiedentlich wurde der Wunsch

geäußert, die Maschinen neben exakten Tachometern auch mit Anzeigegeräten für den momentanen Durchfluß des Markierungsstoffes auszustatten. Wie schon erwähnt, ist der Durchfluß in Abhängigkeit von der Markierungsgeschwindigkeit und der Spritzbreite ein Maß für die Schichtdicke. Die Überwachung des Durchflusses, der für die gewünschte Schichtdicke, Spritzbreite und Markierungsgeschwindigkeit im voraus zu errechnen ist, würde die Überwachung der Drücke von Markierungsstoff und Zerstäuberluft sowie der Viskosität erübrigen. Ein großer Vorteil wäre es, daß Widerstandsänderungen im Leitungssystem und Viskositätsänderungen nicht unbemerkt blieben, sondern sich direkt in einer Durchflußänderung äußern, so daß durch Veränderung der übrigen Einflußgrößen (Druck, Geschwindigkeit) eine Kompensation erzielt werden kann.

Abgesehen davon, daß für die Festlegung des einer bestimmten Geschwindigkeit, Spritzbreite und Schichtdicke entsprechenden Soll-Durchflusses Rechenoperationen oder die Zuhilfenahme von Tabellen notwendig sind, lassen sich Durchflußmeßgeräte nur in besonderen Fällen einsetzen. Die handelsüblichen mit geschlossenen Kammern arbeitenden statischen Durchflußmeßgeräte sind in der Regel nicht für Flüssigkeiten geeignet, die mit Feststoffen angereichert sind, wie es bei den meisten Markierungsstoffen der Fall ist. Dynamisch arbeitende Geräte, von denen etliche Ausführungen für mit Feststoffen angereicherte Flüssigkeiten geeignet sind, scheiden für die Praxis der Markiertechnik aus, da die Anzeige viskositätsabhängig (temperaturabhängig) ist und Messungen nur unter Zuhilfenahme von Tabellen oder Diagrammen durchgeführt werden können, die für unterschiedliche Markierungsstoffe und Verarbeitungstemperaturen vorher aufzustellen sind. In der Praxis wären Systeme mit Durchflußmeßgeräten zudem nur für stationäre Betriebszustände geeignet, d. h. in diesem Falle für gleichmäßigen Durchfluß bei gleichmäßiger Markiergeschwindigkeit. Bei Geschwindigkeitsänderungen müßte nämlich der Durchfluß während des Änderungsvorgangs entsprechend angepaßt werden, am besten in direkter Koppelung mit der Geschwindigkeit. Dies läßt sich durch manuelles Justieren der Maschineneinstellung nicht realisieren. Um alle im Voranstehenden beschriebenen Kompromisse und Schwierigkeiten zu umgehen, gipfelte die Forderung nach Weiterentwicklung der Markiertechnik in dem Wunsch nach Ausstattung der Maschinen mit wegeabhängig angetriebenen Pumpen, die der Spritzpistole unabhängig von der Geschwindigkeit pro zurückgelegter Wegeinheit stets eine gleichbleibende gewünschte Markierungsstoffmenge zufördern. Pumpen, die alle bei diesem Anwendungsfall auftretenden Forderungen erfüllen, konnten trotz der Fülle der auf dem Pumpenmarkt angebotenen verschiedenartigen Pumpentypen nicht ausfindig gemacht werden, so daß ein namhafter Markiermaschinenhersteller schon vor Jahren mit einer kostspieligen Eigenentwicklung begann. Diese Entwicklung hat ein System hervorgebracht, das unter der Bezeichnung AMAKOS®-System lieferbar ist. AMAKOS® steht für „Applikation von Markierungsstoffen mit automatischer Konstanthaltung der Schichtdicke“. Der wesentliche Bestandteil des AMAKOS®-Systems ist die Pumpe, die allen Anforderungen dieses speziellen Anwendungsfalles gerecht wird (Bild 1). Dies sind insbesondere:

1. Statische Förderung, so daß eine exakt wegeabhängige zur Maschinengeschwindigkeit proportionale Fördermenge realisiert werden kann, ohne Viskositätseinfluß.

2. Pulsationsfreiheit, so daß in Fahrtrichtung keine Unregelmäßigkeiten im Spritzbild auf Grund der Pumpentätigkeit auftreten.

3. Verschleißfreiheit, damit auch alle mit abrasiven Feststoffen (Glasperlen, Griffmittel) gefüllten Markierungsstoffe verarbeitet werden können, ohne daß ein fortschreitender Verschleiß von Zeit zu Zeit durch Nachjustierung kompensiert werden muß.

4. Chemische Beständigkeit gegenüber allen in den Markierungsstoffen vorkommenden Lösemitteln.

5. Temperaturfestigkeit bis 250 Grad C, so daß auch spritzbare Thermoplastiken verarbeitet werden können.

Dadurch, daß der Pumpenantrieb von der letzten Antriebsstufe des Fahrtriebes der Maschine oder auch von der Fahrbahnoberfläche abgenommen wird, ergibt sich eine strenge Proportionalität (Koppelung) zwischen Markiergeschwindigkeit und Fördermenge der Pumpe, so daß bei Geschwindigkeitsänderungen die Schichtdicke der Markierung unverändert bleibt. Es ist demnach möglich, fast aus dem Stillstand heraus mit der Markierung zu beginnen, ohne daß wie bei herkömmlichen Systemen die Markierung mit einer übergroßen Schichtdicke beginnt. Derartige dickschichtigere Stellen haben eine unverhältnismäßig größere Trocknungszeit und erschweren dadurch den Schutz der frischen Markierung gegen den Verkehr. Tachometer zur Einhaltung konstanter Geschwindigkeiten sowie feineinstellbare Fahrtriebe für die Maschinen erübrigen sich. Eine Notwendigkeit gar für stufenlos hydrostatische Fahrtriebe ist nicht mehr gegeben. Dem einfachen und wirtschaftlicheren mechanischen Fahrtrieb mit seinem nicht zu übertreffenden hohen Wirkungsgrad (kaum Energieverluste durch Umwandlung in Wärme) dürfte wegen des gestiegenen Energiebewußtseins demnach die Zukunft bei mit Pumpen ausgerüsteten Markiermaschinen gehören.

Ein weiterer Vorteil derartiger Maschinen ist der Wegfall der Druckbeaufschlagung für den Markierungsstoff-Vorrat, was die Sicherheit erhöht und die möglichen Folgen bei Verkehrsunfällen ganz entscheidend verringert. Es sind also keine Druckbehälter mehr notwendig. Beim Platzen eines fast leeren, luftgefüllten mit 8 bar Überdruck beaufschlagten 350-l-Behälters wird immerhin eine Energie frei, die dem Aufprall eines mit 140 km/h fahrenden 1 000 kg schweren Fahrzeuges entspricht. Noch um ein Mehrfaches

größer sind die Gefahren, die von beheizten Druckbehältern ausgehen. Ein Verkehrsunfall einer Maschine mit einem mit ca. 220 Grad C heißen Markierungsstoff gefüllten Druckbehälter, der mit ebenso heißem, leicht brennbarem Wärmeübertragungsöl umgeben ist, das wiederum mit Hilfe von offenen Gasflammen erhitzt wird, kann katastrophale Folgen haben.

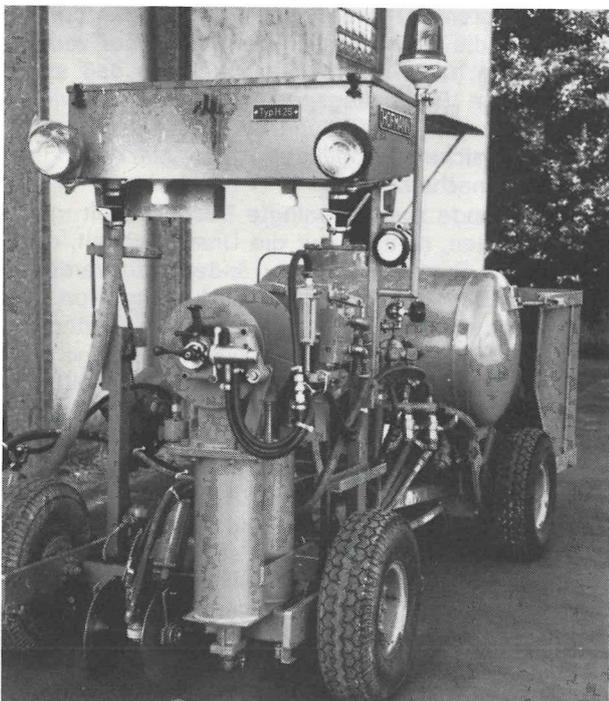
Mit dem AMAKOS®-System ausgerüstete Maschinen verbessern auch den Arbeitsablauf beim Markiereinsatz. Außer einer enormen Entlastung des Bedienungspersonals infolge der wegfallenden Überwachung von Markiergeschwindigkeit, Behälterdruck usw. wird nämlich auch eine wesentliche Erleichterung und Zeitersparnis beim Nachfüllen des Markierungsstoffes und bei der Reinigung des Vorratsbehälters erreicht. Zeitaufwendiges Entlüften eines Druckbehälters, Öffnen und druckdichtes Verschließen eines Deckels und erneutes Belüften entfallen. Die Ergänzung des Markierungsstoffes könnte sogar während des Betriebes von einem Versorgungsfahrzeug aus erfolgen. Die Reinigung der Vorratsbehälter ist einfacher als bei herkömmlichen Druckbehältern, weil drucklose Behälter mit großen Klappdeckeln versehen werden können, die eine problemlose Zugänglichkeit des Behälterinneren ermöglichen.

Wie funktioniert das AMAKOS®-System?

Bei der Pumpe handelt es sich um eine robuste, einfach aufgebaute Zwei-Zylinder-Kolbenpumpe mit Kugelventilen. Die Kolben werden proportional zur Fahrzeuggeschwindigkeit über Kurvenscheiben mit gleichmäßiger Steigung angetrieben, so daß sich während der Förderhöhe gleichmäßige Förderströme mit zur Markiergeschwindigkeit proportionaler Größe ergeben. Der Förderhub erstreckt sich jeweils über  $\frac{3}{4}$  des Kurvenscheibenumfanges. Durch eine um 180 Grad verdrehte Anordnung der Kurvenscheiben erhält man aus den beiden Zylindern zwei sich zeitlich überschneidende gleichmäßige Förderströme. Der eine Förderstrom wird der Spritzpistole, der andere über eine dem Pistolenwiderstand entsprechende Drossel dem Vorratsbehälter zugeführt. Im Überschneidungsbereich der beiden Förderhöbe liegen also zwei gleichgroße Förderströme mit den gleichen Druckverhältnissen vor. Zu einem geeigneten Zeitpunkt werden dann durch ein spezielles Umsteuerorgan die beiden Förderströme vertauscht, so daß die Spritzpistole von dem kurz vor dem Förderhubende befindlichen Zylinder auf den kurz nach Förderhubanfang befindlichen Zylinder umgeschaltet wird. Eine entsprechende Umschaltung findet dabei gleichzeitig mit dem Rücklauf zum Vorratsbehälter statt. Das Umsteuerorgan ist so ausgebildet, daß beim Umsteuervorgang keine Pulsation entstehen kann. Auf diese Weise entsteht durch Aneinanderreihung von gleichmäßigen Förderströmen ein kontinuierlicher pulsationsfreier Dauerstrom, dessen Größe vom Gegendruck unabhängig und zur Markiergeschwindigkeit proportional ist (Bild 2).

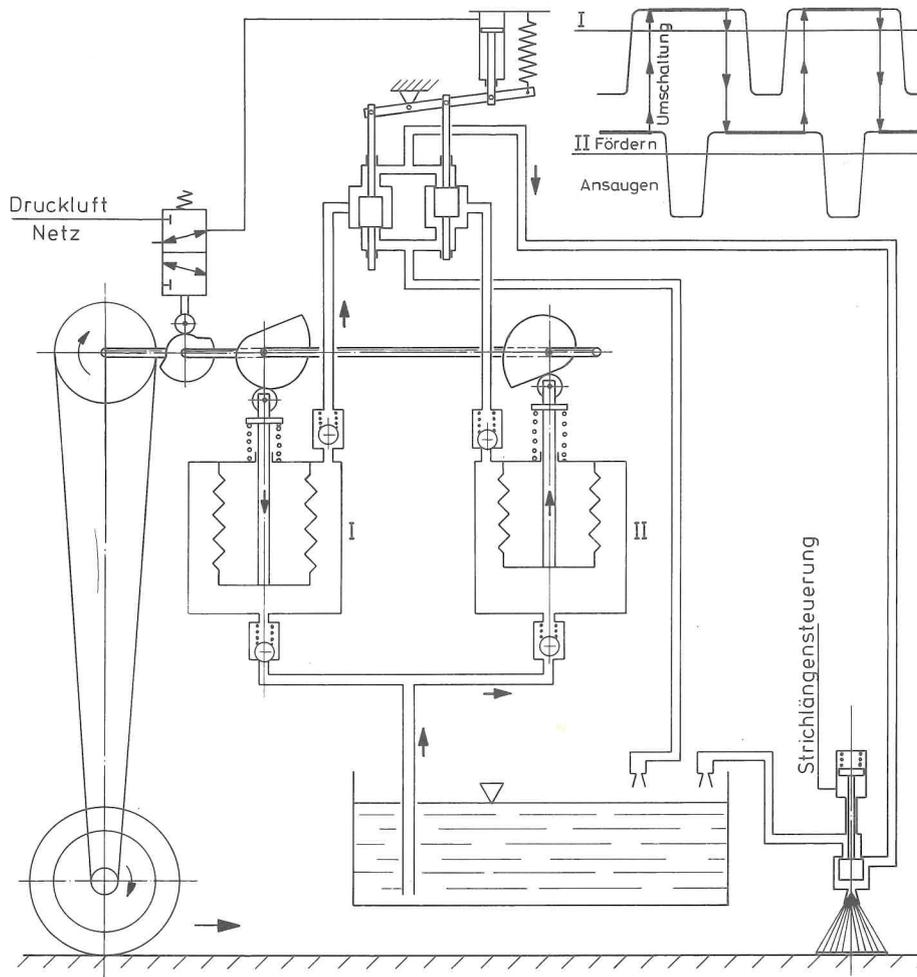
Die Kolben der Pumpe werden durch temperaturfeste und gegen alle Lösungsmittel beständige flexible Stahlbalgen gebildet, die berührungsfrei in den Zylindern arbeiten. Kolben- und Kolbenstangen-Dichtungen, die einem Verschleiß unterworfen sein könnten, gibt es deshalb nicht. Bei Antrieb der Balgen über Kolbenstangen lassen sich Markierungsstoffdrücke bis etwa 10 bar erreichen. Bei Antrieb durch Flüssigkeiten, die den Innenraum der Balgen ausfüllen, lassen sich die in der Hydrostatik möglichen Drücke erreichen, so daß das AMAKOS®-System auch für Airless-Spritzsysteme weiterentwickelt werden kann.

Um Anlauf- und Druckaufbauphasen etwa bei einem Strichanfang zu umgehen, arbeitet die Pumpe durchlaufend, also auch während der Strichunterbrechungen. Der Förderstrom



1: AMAKOS-System, Versuchsgerät

(Werkfoto: Hofmann)



2: Plan des AMAKOS-Systems (Patente angemeldet)

wird dann über eine Drossel in den Vorratsbehälter zurückgeleitet. Die Drossel erzeugt dabei den gleichen Gegendruck wie die Spritzpistole während des Spritzbetriebes, so daß bei Umschaltung auf Spritzbetrieb (Strichanfang) keine Druckschwankung mit allen nachteiligen Folgen auftritt. Die Umschaltung zwischen Spritzbetrieb und Rückführung in den Behälter erfolgt in der Spritzpistole, und zwar durch die Pistolennadel, die als Schließorgan abwechselnd für zwei verschiedene Öffnungen dient, nämlich entweder für die Spritzdüse oder für die Öffnung zur Rückführungsleitung. Die Spritzpistole ist also an zwei Materialleitungen angeschlossen, an eine Zuführungs- und an eine Rückführungsleitung.

Die auch während der Linienunterbrechung vorhandene Strömung durch Leitungen und Pistole hat ferner im Hinblick auf die Markierungsqualität nicht nur den Vorteil der Mischungshomogenisierung (kein Absetzen und Separieren von Feststoffen), sondern auch den für heiß verspritzbare Markierungsstoffe bedeutsamen Vorteil der thermischen Homogenisierung.

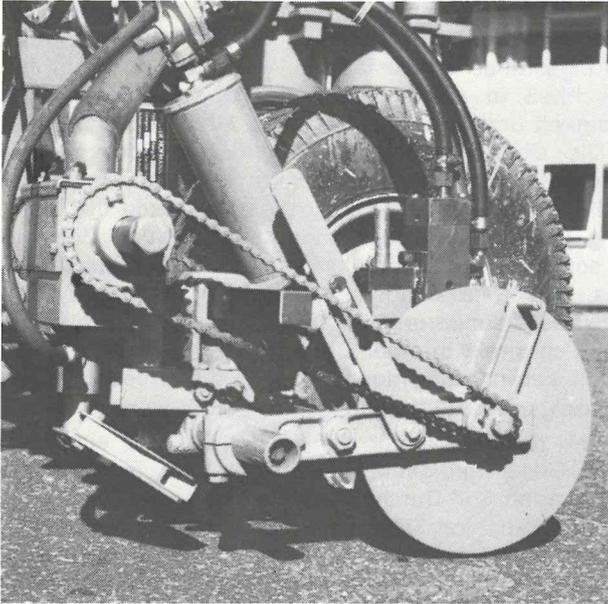
Die Einstellung der Schichtdicke erfolgt in einfacher Weise mit Hilfe einer Kettenübersetzung im Pumpenantrieb. Und zwar wird nicht die Schichtdicke direkt, sondern die pro Meter Fahrstrecke erforderliche Markierungsstoffmenge eingestellt, die sich aus Leitlinienbreite und gewünschter Schichtdicke ergibt. Diese Markierungsstoffmenge wird einer Tabelle entnommen, die auch die dafür erforderliche Übersetzung der beiden Kettenräder angibt.

Der Vergleich des neuen Systems mit den herkömmlichen wäre nicht vollständig, wenn nicht auch dessen Nachteile erwähnt würden. Wie häufig bei Entwicklungen zu perfektionierter Technik muß ein höherer technischer Aufwand

und damit eine Verkomplizierung in Kauf genommen werden. Das herkömmliche Druckbehälterverfahren läßt sich hinsichtlich Einfachheit und Robustheit kaum überbieten. Das fortschrittlichere Verfahren mit Hilfe von Pumpen verlangt dagegen mehr Überwachung im Hinblick auf die einwandfreie Funktion. Das jetzt zur Verfügung stehende AMAKOS®-System ist allerdings in Anbetracht der vielen Forderungen, die es zu erfüllen galt, von einer verblüffenden Einfachheit und Anspruchslosigkeit, so daß auch bei nichtgeschultem Bedienungspersonal keine Schwierigkeiten zu erwarten sind. Das neue System soll ja gerade die richtige und sichere Applikation der Markierungsstoffe problemloser machen.

Auch auf folgende systembedingte Besonderheit muß hingewiesen werden, nämlich auf die Unmöglichkeit, die Fördermenge der Pumpe abrupt zu ändern (zu verdoppeln), wie es bei der gleichzeitigen Markierung von durchgehenden und unterbrochenen Leitlinien im Rhythmus der unterbrochenen Linie erforderlich wäre. Derartige Markierungen müssen demnach in zwei Arbeitsgängen durchgeführt werden, ohne daß dabei jedoch die Maschineneinstellung geändert zu werden braucht. Um solche Markierungen in nur einem Arbeitsgang durchführen zu können, müßten zwei AMAKOS®-Systeme an der Maschine installiert werden, was bei größeren Maschinentypen durchaus möglich ist.

Ein System geschaffen zu haben für die mengenmäßig korrekte Applikation nur des flüssigen Markierungsstoffes hieße das Mengenproblem nur zum Teil gelöst zu haben. Das Mengenproblem betrifft nämlich auch die Applikation der Nachstreumittel mit Hilfe sog. Perlpistolen. Auch hier ist eine neue Entwicklung durchgeführt worden.



3: Perlpistole mit Dosierung, Versuchsgerät

(Werkfoto: Hofmann)

Zwei grundsätzlich verschiedene Systeme sind heute gebräuchlich. Das eine (Walzenperlsteuer) stellt eine wegeabhängig angetriebene Zellenradschleuse dar. Die Streudichte (Menge pro Flächeneinheit) bleibt deshalb auch bei Geschwindigkeitsänderungen der Maschine stets auf dem vorher eingestellten Wert. Die Nachstreumittel verlassen die Streuvorrichtung allerdings im freien Fall, weshalb bei Seitenwind ein mehr oder weniger großer Anteil nicht auf die zu bestreuende, frische Leitlinie gelangt, sondern verlorengelht. Auch genügt gelegentlich die Fallgeschwindigkeit nicht, um die Nachstreumittel bei allen Markierungsstoffen tief genug in die Schicht eindringen zu lassen. Bei den sog. Perlpistolen dagegen erhalten die Nachstreumittel durch Druckluft eine hohe Geschwindigkeit, so daß ein sicheres Eindringen in die Markierungsstoffschi-

cht gewährleistet ist und auch stärkerer Seitenwind kaum noch einen schädlichen Einfluß hat, aber es findet genau wie bei den heute gebräuchlichen eingangs beschriebenen Applikationssystemen für flüssige Markierungsstoffe keine wegeabhängige Zuteilung der Nachstreumittel statt.

In Zukunft werden Nachstreugeräte zur Verfügung stehen, die die bekannten Vorteile der wegeabhängig fördernden Walzenperlsteuer und die Vorteile der mit hoher Partikelgeschwindigkeit aufragenden Perlpistolen vereinigen, so daß auch hinsichtlich der Applikation von Nachstreumitteln ein wichtiger Fortschritt erzielt wird. Bei diesen Geräten wird das Nachstreumittel wie bei einem Walzenperlsteuer durch eine wegeabhängig angetriebene Zellenradschleuse gefördert und dann erst von einem Luftstrom erfaßt, der es beschleunigt und durch eine Verteilerdüse auf die Leitlinie aufträgt (Bild 3).

Während bei den bisher bekannten Perlpistolen bei steigendem Luftdruck sowohl die Menge als auch die Partikelgeschwindigkeit des Nachstreumittels zunehmen, kann bei den neuen Geräten die Partikelgeschwindigkeit in weiten Grenzen durch Veränderung des Luftdruckes variiert werden, ohne daß dadurch die Streumenge beeinflusst wird. Damit läßt sich die Partikelgeschwindigkeit unabhängig von der Menge unterschiedlichen Markierungsstoffen anpassen.

Mit den im Voranstehenden vorgestellten Entwicklungen lassen sich einige der seit jeher bestehenden Probleme lösen und die in den letzten Jahren immer dringender vortragene Forderung nach Ablösung oder Verbesserung der bisherigen, nicht mehr zeitgemäßen Techniken erfüllen. Wie in vielen anderen Bereichen wird auch in der Straßenmarkierung die wirtschaftlichere Erzielung eines geforderten Qualitätsstandards nur durch den Einsatz technisch höherentwickelter Ausrüstungen erreichbar sein. Diese Ausrüstungen, deren Entwicklung wegen der extremen Forderungen bisher auf sich warten ließ, stehen nun zur Verfügung und können einen neuen Abschnitt der Markiertechnik einleiten.