

Massen, hart und bröcklig, die kontinuierlich ohne scharfe Abgrenzung in den Boden übergehen. Man wird annehmen, daß die stark alkalische Flüssigkeit, die sich aus basenreichen Böden an der Kathode konzentriert, das metallische Aluminium auflöst. Die sich bildenden Aluminat sind, im Falle von Ca als Kation, identisch mit den wirksamen Bestandteilen der Zemente. Aber die Aluminatbildung durch die alkalische Kathodenflüssigkeit ist nicht die einzige Ursache für die Zersetzung des Aluminiums. Sogar in Leitfähigkeitswasser deckte sich Aluminiumblech, als Kathode geschaltet, mit einem glasklaren Überzug von α - und β -Aluminiumhydroxydgel (Kohlschütter u. Mitarb.). Jedenfalls bildet sich auch in wässriger Lösung an beiden Elektroden Aluminiumhydroxyd. „Die Al-Elektroden überziehen sich... bei anodischer Belastung mit einer geleartigen Schicht von Al(OH)_3 , die sich infolge negativer Ladung elektrophoretisch an die Anode anpreßt, außerdem wird der Elektrolyt elektroendosmotisch herausgepreßt, während bei kathodischer Polarisation der Elektrode das Gelee abgestoßen wird und sich mit dem Elektrolyten füllt⁸⁾.“ Nach diesem Verhalten kann man also von der Kathode aus eine besonders innige Mischung von Boden und Al(OH)_3 erwarten.

Es steht somit fest, daß das Aluminium nicht als Ion Al^{+++} im Boden wirksam wird. Aber die Entstehung von undissoziiertem Al(OH)_3 hat für unser Problem eine wichtige Folge: es müssen sich in äquivalenter Menge H-Ionen bilden ($\text{Al}^{+++} + 2\text{HOH} \rightarrow \text{Al(OH)}_3 + 3\text{H}^+$), „so daß sich eine Al-Elektrode beim Vorgang der elektrolytischen Lösung also wie eine Wasserstoffelektrode verhält, d. h. Wasserstoffionen aussendet“. Die Aluminiumanode liefert also die Wasserstoffionen, die wir brauchen, um die abwandernden Kationen zu ersetzen. Mit ihrem kleinen Ionen durchmesser vermögen sie in die Poren des Bodens leicht einzudringen und ermöglichen den anderen Kationen den raschen Abgang durch ihre Beweglichkeit. Man glaubt zunächst, daß wenigstens der elektroosmotische Vorgang nicht von der Art des Metalls, sondern nur von der angelegten Spannung abhängt. Wir sehen aber, daß das Aluminium auch hier eine Sonderstellung einnimmt.

Die Erhöhung des Säuregrades von der Anode aus muß demnach bei Aluminium besonders groß sein. Die dadurch erfolgende Ausflockung und Entquellung wird nun, wenigstens zu einem Teil, durch die Einwirkung des Al(OH)_3 stabilisiert.

⁸⁾ Handbuch der allgemeinen Chemie, 8. Bd., 2. Teil, S. 425.

Nach den Erfahrungen der Kolloidchemiker sind Ausflockungen mit Aluminium kaum wieder rückgängig zu machen. Frisch hergestelltes Aluminiumhydroxydgel ist für die Adsorption, vor allem saurer Farbstoffe, stark wirksam, verliert aber diese Wirksamkeit beim Altern mehr oder weniger rasch. Wir können wohl die Fähigkeit der Adsorption saurer Farbstoffe mit der Ausflockung negativ geladener Suspensionen parallel setzen. Die elektrochemische Herstellung gewährleistet also ein besonders aktives Aluminiumhydroxyd.

Die praktischen Erfolge des Verfahrens lassen sich also schon jetzt recht gut begründen. Bei Berücksichtigung aller Zusammenhänge werden sich Fehlschläge vermeiden lassen. Feuchthalten der Anodenumgebung ist wichtig, damit die Kationen abwandern können und sich Aluminiumhydroxyd bilden kann. Zu hohe Spannung muß vermieden werden, weil die elektroosmotisch bedingte Austrocknung die Stromwärme in der nächsten Nähe des Anodenmetalls so steigern kann, daß sich das Aluminium mit einer nichtleitenden Schicht bedeckt.

Bei den günstigen Ergebnissen haben sich einzelne Baufirmen schon seit langem für das Verfahren interessiert. Es mag aber an den eben erläuterten vielfältigen und unübersichtlichen Zusammenhängen gelegen haben, wenn das Verfahren bisher nur in Großversuchen, aber noch nicht in der Praxis sich bewähren durfte. Der Kriegsausbruch hat die Durchführung eines größeren Vorhabens unter Verwendung des Casagrandeschen Verfahrens vorläufig verhindert. Nachdem aber der Generalinspektor für das deutsche Straßenwesen eine Anzahl Bauwerke der Reichsautobahn für die Verwendung des Verfahrens zur Verfügung gestellt hat, ist zu hoffen, daß dieses interessante und aussichtsreiche Verfahren bald seine Leistungsfähigkeit beweisen kann, um so mehr als es in seiner Anwendung auf Pfahlgründung eine erhebliche Materialersparnis zu erzielen vermag.

Eingeg. 2. Februar 1940. [A. 15.]

Schrifttum.

- (1) D. R. P. 621604, Klasse 84c/6; Dr.-Ing. Leo Casagrande, Verfahren zur Verfestigung toniger Böden. — (2) K. Endell, Beitrag zur chemischen Erforschung und Behandlung von Tonböden, Bautechnik 1935, Heft 18. — (3) L. Erlenbach, Anwendung der elektrochemischen Verfestigung auf schwimmende Pfahlgründungen, Ebenda 1936, Heft 19. — (4) L. Casagrande, Großversuch zur Erhöhung der Tragfähigkeit von schwimmenden Pfahlgründungen durch elektrochemische Behandlung, Ebenda 1937, Heft 1. — (5) W. Bernatzik, Elektrochemische Bodenverfestigung, Schlussbericht des Zweiten Internationalen Brückenbaukongresses, Berlin 1938, Verlag Wilhelm Ernst u. Sohn, S. 923—929. — (6) K. Endell, Tonchemie und Erdbaumechanik, Bodenmechanik u. neuzeitlicher Straßenbau, 2. Folge, Volk u. Reich Verlag Berlin 1939, S. 16—25. — (7) L. Casagrande, Die elektrochemische Bodenverfestigung, Bautechnik 1939, Heft 16; ferner in Bodenmechanik u. neuzeitlicher Straßenbau, 2. Folge, Volk u. Reich Verlag, Berlin 1939, S. 26—31.

Öl und ölartige Bestandteile in der Luft

Von Dr. H. CAUER, Dipl. chem. et Dipl. agr.

Aus dem Hygienischen Institut der Reichshauptstadt, Berlin, stellv. Direktor Dr. Haack

Die Erkenntnis, daß die Schwebstoffteilchen der Größenordnung $r = 10^{-6}—10^{-4}$ cm (Nebelkerne) wegen ihrer verhältnismäßig geringen Beweglichkeit bis in die Alveolen der Lunge eindringen können, macht auch eine Nachprüfung des Gehaltes der Luft an Öl und ölartigen Bestandteilen erforderlich, denn die verhältnismäßig große Schwebefähigkeit des Öldunstes zeigt, daß er vornehmlich aus Teilchen dieser Größenordnung besteht. Es kommt hinzu, daß es sich bei dem Öldunst auf Straßen, in Werkstätten und in Motorenräumen selten um ein Öl organischer Herkunft, sondern um Mineralöl handelt, das körperfremd ist und infolgedessen weniger leicht absorbiert wird. Hierdurch hat es Zeit, sich in einer äußerst feinen Schicht über die Körperoberfläche auszubreiten und den Stoffwechsel zu behindern. Bei dem geringen Durchmesser von 10^{-2} cm (0,01) der Lungengänge vor dem Infundibulum besteht außerdem die Möglichkeit, daß die Alveolen durch Ölhäutchen zeitweilig abgesperrt werden. Nach Messungen der Schichtdicke von Öl¹⁾, das zur Verhinderung von Gischt und Spritzwasser auf die Meeresoberfläche geschüttet wurde, haben derartige Ölüberzüge eine Dicke von etwa $5 \cdot 10^{-8}$ cm. Sie können aber noch dünner sein. Zur Bedeckung der gesamten Luftsorptionsfläche der Lunge, etwa 100 m^2 , sind unter Zugrundelegung obiger Zahl 44—46 mg Öl notwendig.

¹⁾ Allg. österr. Chemiker- u. Techniker-Ztg. 36, Nr. 3/4, S. 11 [1918].

Zur Bestimmung des Öles der Luft wurde die an anderer Stelle²⁾ beschriebene Apparatur, 2. Größenordnung, bestehend aus einer Mega-Pharmapumpe, einem entsprechenden Elektromotor, einem Gasmesser und einem Frittenfilter 2GG4 verwendet. Das Aggregat ist leicht fahrbare in einem wetterfesten Kasten aufgebaut und wird von Pfeiffer, Wetzlar, hergestellt.

Für einen Versuch wurden 3000—20000 l Luft mit einer Geschwindigkeit von etwa 1000 l/h durch das Filter hindurchgesaugt. Da dieses die Porenweite von $5 \cdot 10^{-4}$ cm besitzt, kommt man zunächst leicht zu der Annahme, daß nur Ölteilchen hängenbleiben, die den größten Nebelkernen ($r = 3 \cdot 10^{-1}$ cm) entsprechen bzw. einen noch größeren Halbmesser besitzen. Die Praxis zeigt aber, daß nur 7% des Öles das Filter passieren, wie sich durch Hintereinanderschaltung gleichartiger und noch engerer Filter nachweisen ließ. Diese Feststellung darf nicht dazu verleiten anzunehmen, daß die Hauptmenge der Ölteilchen trotz ihrer großen Schwebefähigkeit größer als Nebelkerne sei. Ihr Haften ist vielmehr auf die allerdings geringe Beweglichkeit³⁾ der Teilchen zurückzuführen, die mit Abneigung des Durchmessers zunimmt und gerade ausreicht, daß über 90% der Teilchen an der Filteroberfläche austreten und haftenbleiben. — Wassertröpfchen gleicher Größenordnung und gleicher Zahl verhalten sich nur darum anders, weil sie durch den Luft-

²⁾ Z. analyt. Chem. 103, 106 [1935].

³⁾ Teilchen mit dem Halbmesser $r = 10^{-5}$ cm bewegen sich etwa $2 \cdot 10^{-3}$ cm/s, solche mit $r = 10^{-8}$ cm etwa 10^{-3} cm/s.

strom in den Filterporen weitgehend verdunsten und infolge ihrer geringen Viscosität sogar durch die Poren hindurchgedrückt und vom Filter abgerissen, ja geradezu zerstäubt werden. — Nach der Entnahme wird das Filter auf einen Saugstutzen gesetzt und Öl und ölähnliche Substanzen mit reinem Äther ausgewaschen. Dieser muß anschließend bei niederer Temperatur abdestilliert werden, wonach das zurückbleibende Öl mit wenig reinem Äther aus dem Stutzen in einen zuvor gewogenen Aluminiumtiegel gebracht wird. Der Tiegel steht auf einem kleinen mitgewogenen Glasuntersatz, der etwa überkriechendes Öl auffängt. Tiegel und Untersatz werden auf dem Wasserbad schwach erwärmt, so daß der Äther ohne zu sieden verdunstet. Danach werden sie etwa 1 h zum Abdunsten von Wasser bei 30—40° in den Trockenschrank gestellt. Anschließend kommen sie in den Exsiccator zum Abkühlen und werden dann gewogen. Die Differenz ergibt die Ölmenge samt ätherlöslichen Verunreinigungen, bezogen auf die filtrierte Luftmenge. Man rechnet auf 1 m³ um und zählt 10% hinzu, da Blindversuche ergeben haben, daß außer den mit dem Filter nicht erfaßten 7% durch Auswaschen und Trocknen etwa 3% Öl verlorengehen.

Tabelle 1.

Nr.	Ort	Datum	Öl mg/m ³	Bemerkungen
1.	Fahrbahn Bismarck-(Ecke Leibniz-)Straße	3./4. 8. 36	0,55	Heiter, warm, Windstärke 3, stark. Olympiadeverkehr.
2.	Fahrbahn Bismarck-(Ecke Leibniz-)Straße	5. 8. 36	0,25	Wechselnd, Regen, Windstärke 3, stark. Olympiadeverkehr.
3.	Fahrbahn Bismarck-(Ecke Leibniz-)Straße	6. 8. 36	0,67	Heiter, warm, Windstärke 2, stark. Olympiadeverkehr.
4.	Fahrbahn Bismarck-(Ecke Leibniz-)Straße	7. 8. 36	0,36	Heiter, kühl, Windstärke 4, stark. Olympiadeverkehr.
5.	Fahrbahn Unter den Linden, Ecke Wilhelmstraße	8. 8. 36	0,55	Heiter, warm, Windstärke 3, stark. Olympiadeverkehr.
6.	Fahrbahn Unter den Linden, Ecke Wilhelmstraße	14. 8. 36	0,96	Platz- u. Dauerregen, kein Wind, blauer Dunst, schwache Reizwirkung, starker Olympiadeverkehr.
7.	Fahrbahn Unter den Linden, Ecke Wilhelmstraße	15. 8. 36	3,20	Nebelregen, blauer Dunst, kein Wind, Reizwirkung, starker Olympiadeverkehr
8.	Fahrbahn Hardenberg-(Ecke Joachimsthaler) Str.*	25. 1. 37	0,15	Klar, —12°, Windstärke 5, starker Verkehr
9.	Fahrbahn Hardenberg-(Ecke Joachimsthaler) Str.*	26. 1. 37	0,086	Bedekt, —10°, Windstärke 6, starker Verkehr
10.	Fahrbahn Hardenberg-(Ecke Joachimsthaler) Str.*	27. 1. 37	0,092	Wechselnd bedekt, —13°, Windstärke 5, starker Verkehr
11.	Fahrbahn Hardenberg-(Ecke Joachimsthaler) Str.*	3. 2. 37	0,52	Bedekt, 0°, zeitweise Regen, Windstärke 5, starker Verkehr
12.	Fahrbahn Hardenberg-(Ecke Joachimsthaler) Str.*	5. 2. 37	0,61	Bedekt, 0°, schwacher Dunstgegen, Windstärke 2, starker Verkehr

* Diese Untersuchungen wurden im Reichsberufswettbewerb der Deutschen Studenten der Techn. Hochschule Berlin-Charlottenburg 1936/37 durch die Herren O. Stoek (Mannschaftsführer), O. Winter, W. Wendland, B. Gantenbrink, A. Hödl, A. Mich durchgeführt. Kennnummer 113, Gau Berlin.

Tabelle 2.

Nr.	Ort	Datum	Öl mg/m ³	Bemerkungen
1.	Stadt. Pumpwerk, Wilmersdorf	24. 5. 35	0,225	Ein Diesel, Lüftung angestellt
2.	Stadt. Pumpwerk, Wilmersdorf	25./26. 5. 35	8,432	Ein Diesel, Buchsen undicht, Lüftung abgestellt, Ölgeruch, blauer Dunst, Reizwirkung
3.	Stadt. Pumpwerk, Wilmersdorf	28. 5. 35	0,580	Ein Diesel, Lüftung an, Ölgeruch
4.	Pumpwerk Wittenbergsdorf	21./24. 1. 36	0,262	Kein Diesel, Faul- und Generatorgasnotore
5.	Pumpwerk Wittenbergsdorf	24./31. 1. 36	0,211	Kein Diesel, Faul- und Generatorgasnotore
6.	Pumpwerk Berlin V	8. 2. 37	0,605	Zwei Dampfmaschinen, Lüftung an, Ölgeruch
7.	Pumpwerk Berlin V	9. 2. 37	0,792	Zwei Dampfmaschinen, Lüftung an, Ölgeruch
8.	Pumpwerk Berlin V	10. 2. 37	0,627	Zwei Dampfmaschinen, ein Diesel, Lüftung an, Ölgeruch
9.	Pumpwerk Berlin V	11. 2. 37	3,322	Zwei Dampfmaschinen, Lüftung ab, Ölgeruch, blauer Dunst, Reizung
10.	Pumpwerk Berlin V	12. 2. 37	0,995	Über Maschinen entnommen, zwei Dampfmaschinen, Lüftung an, Ölgeruch, blauer Dunst, Reizung
11.	Pumpwerk Berlin V	16. 2. 37	1,155	Über Maschinen entnommen, eine Dampfmaschine, ein Diesel, Lüftung an, Ölgeruch, blauer Dunst, Reizung
12.	Pumpwerk Berlin V	17. 2. 37	1,100	Über Maschinen entnommen, zwei Dampfmaschinen, Lüftung an, Ölgeruch, blauer Dunst, Reizung
13.	Pumpwerk Berlin V	19. 2. 37	1,782	Über Maschinen entnommen, zwei Dampfmaschinen, ein Diesel, Lüftung an, Ölgeruch, blauer Dunst, Reizung
14.	Pumpwerk Berlin V	20. 2. 37	1,628	Über Maschinen entnommen, zwei Dampfmaschinen, ein Diesel, Lüftung an, Ölgeruch, blauer Dunst, Reizung
15.	Pumpwerk Berlin V	23. 2. 37	3,082	Über Maschinen entnommen, eine Dampfmaschine, ein Diesel, Lüftung ab, Ölgeruch, blauer Dunst, Reizung
16.	Pumpwerk Berlin V	24. 2. 37	0,440	Über Maschinen entnommen, eine Dampfmaschine, ein Diesel, Lüftung an, Ölgeruch, blauer Dunst, Reizung
17.	Pumpwerk Berlin V	27. 2. 37	0,363	Über Maschinen entnommen, zwei Dampfmaschinen, Lüftung an

Die gefundenen Ölmengen sind in Tab. 1 und 2 zusammenge stellt. Wie zu erwarten, war im Freien bedeutend weniger Öl anzutreffen (Tab. 1) als in geschlossenen Räumen (Tab. 2). Das Mittel hat sich im Freien auf den Straßen Berlins auf 0,678 mg/m³ eingestellt, d. h. diese Menge wird in etwa 1 h von einem Menschen, der sich in mäßiger Bewegung befindet, aufgenommen, wobei nur etwa 1,5%⁴⁾ der Lungenoberfläche mit Öl bedeckt werden kann. Bei dem höchsten im Freien gefundenen Wert während des starken Olympiadeverkehrs beträgt die Deckungsmöglichkeit nur etwa 7,0% der Oberfläche. In geschlossenen Räumen stellt sich das Mittel auf 1,555 mg/m³, wodurch etwa 3,4% der Oberfläche bedeckt werden können. Bei der Menge des höchsten Wertes besteht dagegen die Möglichkeit einer Überdeckung von annähernd 20% der Oberfläche.

In keinem der untersuchten Fällen⁵⁾ kann also durch einfache Überdeckung eine Ausschaltung größerer Teile der Resorptionsoberfläche der Lunge eintreten. Wie groß allerdings die Resorptionsbehinderung durch Verstopfung der Alveolar gänge oder durch Ölhautchenbildung kurz vor den Alveolen bzw. dem Infundibulum ist, kann nur durch Tierversuche geklärt werden. Ebenso müssen zur Klärung der Reizwirkung, die bis zur leichten Heiserkeit gehen kann und schon bei einem Ölgehalt von 0,5—1,0 mg/m³ beginnt, weitere, andersartige Versuche⁶⁾ ausgeführt werden. Bis jetzt kann nur angenommen werden, daß diejenigen Ölropfchen, die eine dem Körper entgegengesetzte elektrische Ladung tragen, am Flimmerepithel haftenbleiben und infolge Beimengung verschiedenartiger, z. T. unvollständig verbraunter organischer Verbindungen Reize auslösen. Daß hierfür insbes. die Beimengungen verantwortlich sind, ist daraus zu entnehmen, daß der Ölstaub im Straßenverkehr subjektiv unangenehmer wirkt als derjenige in Werkstatthallen.

Im einzelnen ist zu den Tabellen zu sagen:

1. Im Freien ist der Ölgehalt der Straßenluft bei gleichem Kraftfahrzeugverkehr in erster Linie von der Windstärke abhängig; rascher Luftwechsel drückt den Ölgehalt herab, aber selbst während eines Schneesturmes war noch Öl feststellbar.

2. Regen drückt den Ölwert herab, reinigt die Luft aber durchaus nicht vollkommen.

3. Dunst bzw. hoher Feuchtigkeitsgehalt der Luft fördert das Ansteigen des Ölgehaltes stark. Dies muß darauf zurückgeführt werden, daß gerade die kleinsten, beweglichen, molekularen Größenordnung nahestehenden Ölpertikelchen sich als Nebelkerne auswirken, d. h. Wasser zur Kondensation veranlassen, und damit zu Schwebstoffen geringer Beweglichkeit heranwachsen.

4. In geschlossenen Räumen ist naturgemäß die Lüftung von entscheidender Bedeutung, was an Nr. 1, 2 und 6, 7, 8, 9 in Tab. 2 gut zu erkennen ist.

5. Dieselmotoren geben viel Öl an die Luft ab, besonders, wenn die Buchsen nicht mehr ganz dicht sind, Nr. 2, Tab. 2. Aber auch Dampfmaschinen und selbst Faul- und Generatorgasnotore, Nr. 4, 5, Tab. 2, reichern die Luft merkbar mit Öl an. Insbes. bei letzterem stammt das Öl aus der Verdunstung auf warmen oder gar heißen Maschinenteilen. Versuche haben gezeigt, daß die Verdunstung bzw. Verdampfung schon bei Temperaturen knapp über 40° praktisch merkbar ist. Dies gibt auch einen Hinweis für die Herkunft der verhältnismäßig großen Ölmengen in der Straßenluft. Diese können nicht ausschließlich von der geringen Zahl der mit Öl- und Benzingerüst fahrenden Zweitaktmotoren stammen oder aus ungedichten Kolbenringen, sondern müssen aus Ölverdampfungen röhren, die durch Auftröpfchen von Öl auf heiße Metallteile, wie Auspuffrohr (Luft 600°, Metall etwa 200°), Achsengehäuse (60—70°) u. a. entstehen.

6. Der Ölgehalt ist über den Maschinen in 6—8 m Höhe größer als über dem Boden in Atemhöhe 1,50 m.

7. Der Ölgeruch ist deutlich bei 0,5 mg/m³; blauer Dunst und Reizung treten bei etwa 1,0 mg/m³ ein.

Eingeg. 13. November 1939. [A. 3.]

⁴⁾ 1% = 1 m².

⁵⁾ Untersuchungen in einem engen Motorenraum mit Dieselmotoren, in dem zweifellos noch höhere Werte anzutreffen sind, fanden nicht statt.

⁶⁾ E. Quitmann, Abt.-Leiter im H.G.A., bat in der Z. anal. Chem. 114, 1 [1938] ein Verfahren zur Feststellung des Reduktionswertes der Luft veröffentlicht, das derartigen Arbeiten zugrunde gelegt werden muß. Unter dem Begriff Reduktionswert sind alle diejenigen Faktoren auf einen Neurer gebracht, die die sogenannte schlechte Luft ausmachen.