

# Einwirkung abgelagerter Müllasche und Müllkompostes auf das Grundwasser

Autor(en): **Wolfskehl, Otto / Boye, Erich**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **84 (1966)**

Heft 3

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-68816>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Einwirkung abgelagerter Müllasche und Müllkompostes auf das Grundwasser

Von **Otto Wolfskehl**, Traisa bei Darmstadt und **Erich Boye**, Darmstadt

DK 628.191:628.496

## 1. Einleitung

Über die Einwirkung abgelagerter Müllasche bzw. Müllkompostes auf das Grundwasser bestehen unterschiedliche Auffassungen. In der nachfolgenden Arbeit wird versucht, anhand vergleichender chemischer Analysen die grundsätzlichen Unterschiede zu zeigen.

## 2. Problemstellung

A. Andres behauptet in [1], die Ablagerung von Müllkompost sei für das Grundwasser unbedenklich im Gegensatz zur Ablagerung von Müllasche. Diese Behauptung ist nur dann richtig, wenn der Müllkompost lege artis in dünner Schicht auf landwirtschaftlich genutztem Gelände verteilt wird, so, dass alle Ionen, die aus ihm vom Regen herausgelöst werden, sofort von der Vegetation aufgenommen werden. Die Behauptung stimmt jedoch keinesfalls, wenn der Müllkompost auf Halde abgekippt wird, wie es in letzter Zeit bisweilen empfohlen wurde für den Fall, dass der Kompost nicht oder nicht restlos abgesetzt werden könnte. Die Gefährdung des Grundwassers durch Kompost- und Aschehalde soll anschliessend anhand der angestellten Laborversuche verglichen werden.

A. Andres schreibt: «Die in den Abfällen in vielerlei Form enthaltenen Salze – deren Mengen natürlich in sehr starkem Mass von den erfassten Gewerbe- und Industriebetrieben abhängen – können das Oberflächen- und Grundwasser erheblich beeinflussen und es für den direkten menschlichen Gebrauch wie für gewerbliche Nutzung mehr oder weniger unbrauchbar machen. Diese Salze sind in den Abfällen weitestgehend an organische Stoffe gebunden. Wird die organische Substanz aber verbrannt, so bleiben die Salze in ungebundener Form zurück. In den Verbrennungsschlacken sind sie also durch Wasser auswaschbar, während sie im Kompost nach wie vor an organische Substanz gebunden bleiben. Die Ablagerung von Verbrennungsschlacken muss daher nach § 34 Abs. 2 WHG auf grössere Schwierigkeiten stossen als die Ablagerung von Müll, denn es ist infolge der leichten Salzlöslichkeit Veränderung der Grundwassereigenschaften zu befürchten. In ordnungsgemäss hergestelltem Kompost sind die Abfälle zu einer «harmlosen organischen Erde» geworden.»

In Wirklichkeit liegen die Dinge jedoch genau umgekehrt! Die Salze sind nämlich in den Abfällen *nicht* in chemischem Sinn an organische Stoffe gebunden. Sie sind entweder adsorbiert oder okkludiert, aber nicht gebunden. Adsorption und Okklusion sind physikalische Erscheinungen. Sie bedingen, dass die Salze nur schwach festgehalten werden und von Wasser ausgewaschen werden können, entweder direkt oder nach den Gesetzen der Osmose.

Wenn die organischen Stoffe mit ihren Salzen aber Hitzeeinwirkung (Müllverbrennung: bei zweckmässiger Konstruktion und ordnungsgemässen Betrieb  $> 800^\circ\text{C}$ ) in Gegenwart von Sauerstoff ausgesetzt werden, findet bei den meisten Salzen eine grundlegende chemische Umwandlung statt, die bis zu wasserunlöslichen Verbindungen führen kann. Vor allem bindet bei diesen Temperaturen die Kiesel-

säure entsprechende Mengen von Mg- und Ca-Oxyden und den Oxyden anderer Metalle unter Bildung unlöslicher, glasartiger Substanzen. Sie sind verwandt bzw. vergleichbar mit den in allen Böden vertretenen Feldspatmineralien.

Besonders interessant ist auch das Verhalten von  $\text{Cr}(\text{OH})_3 + x\text{H}_2\text{O}$  in einer Feuerung in Gegenwart von Sauerstoff. Diese Verbindung ist in den Neutralisationsabschlämmen der galvanischen Industrie vorhanden, deren für das Grundwasser gefahrlose Beseitigung vielerorts problematisch ist. Es ist anzustreben, die genannte Verbindung in  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  umzuwandeln, das unter atmosphärischen Bedingungen nicht löslich, also für das Grundwasser ungefährlich ist. Diese Aufgabe kann eine Müllverbrennungsanlage übernehmen, wenn sie zweckmässig konstruiert ist und richtig betrieben wird (s. Tabelle 3).

## 3. Durchführung der Versuche

### 3.1 Extraktion von Müllasche und Müllkompost mit destilliertem Wasser

Es wurden 50 g Müllasche aus Lausanne fein gemahlen und zehnmal mit kaltem, destilliertem Wasser je 6 Stunden lang extrahiert, indem das Gut im Wasser mit einem Rührwerk ständig gerührt wurde. Entsprechend wurden 94 g Müllkompost (1 Jahr alt) mit einem Aschemengehalt von 53 %, also gleiche Aschemengen, ebenfalls in gleicher Weise zehnmal mit kaltem, destilliertem Wasser extrahiert. Der Müllkompost stammte aus der Anlage Bad Kreuznach. Diese jeweils 10 Eluate wurden auf ihre Alkalität, ihren pH-Wert, ihre Gesamthärte,  $\text{KMnO}_4$ -Verbrauch, Abdampf- und Glührückstand, sowie auf die wichtigsten Ionen untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

### 3.2 Extraktion von Müllasche und Müllkompost mit kohlendioxid gesättigtem destilliertem Wasser

Hierzu wurden die gleichen Mengen Asche bzw. Kompost wie oben unter 3.1 angegeben wieder zehnmal mit kaltem, destilliertem Wasser je 6 Stunden lang unter den gleichen Bedingungen wie unter 3.1 angegeben extrahiert, doch wurde jetzt während diesen Extraktionen gasförmige Kohlensäure eingeleitet. Die Müllasche wurde selbstverständlich vorher wieder fein aufgemahlen. Die Eluate wurden wieder untersucht und die Ergebnisse in Tabelle 2 zusammengefasst.

### 3.3 Bestimmung der Entwässerungskurve von wasserhaltigem Chrom-3-Hydroxyd

Das Chromhydroxyd wurde durch Fällung von Chromalaunlösung  $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$  mit verdünntem Ammoniak, Auswaschen des Niederschlages mit destilliertem Wasser bis zur Sulfationfreiheit und Trocknen im Trockenschrank bei  $100^\circ\text{C}$  hergestellt. Die Substanz wurde nun im Elektroofen bei verschiedenen Temperaturen bis zur Gewichtskonstanz erhitzt und der Gehalt an  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  bestimmt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen finden sich in Bild 1. Die Wasserlöslichkeit der bei verschiedenen Temperaturen behandelten Chromhydroxyde ist in Tabelle 3 und Bild 2 dargestellt.

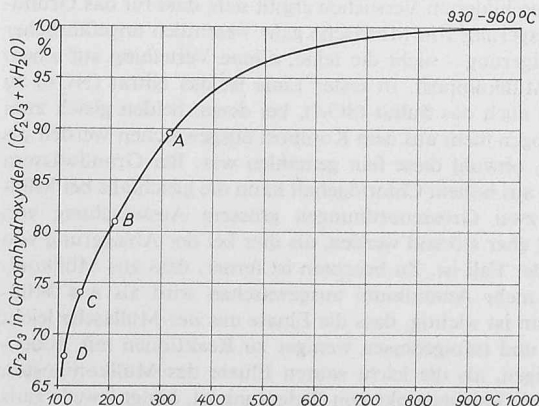


Bild 1 (links).

Dehydratisierung von Chromhydroxyd

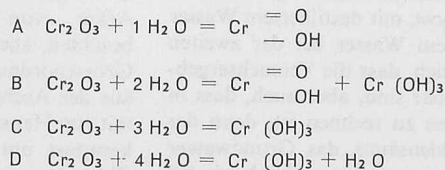


Bild 2 (rechts).

Wasserlöslichkeit von Chromhydroxyd bei verschiedenen Dehydratisierungsstufen

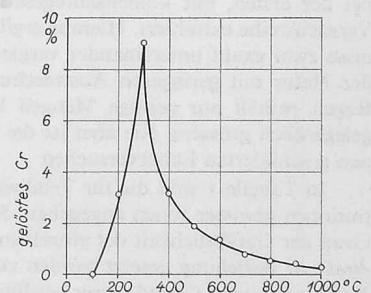


Tabelle 1. Extraktion von Müllasche und Müllkompost mit destilliertem Wasser

Benennung	Einh.	Extraktionen																			
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
		S	K	S	K	S	K	S	K	S	K	S	K	S	K	S	K	S	K	S	K
Alkalität p-Wert <sup>1)</sup>		2,3	0	0,2	0	0,1	0	0,05	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alkalität m-Wert <sup>2)</sup>		8	2,5	1,7	2,5	1,1	2	0,8	1,7	0,7	1,7	0,7	1,6	0,7	1,7	0,8	1,4	0,6	1,2	0,8	1,2
pH		8,8	6,6	8	6,6	8	6,6	8	6,3	8	6,3	7,5	6,3	7,2	6,3	7,3	6,3	7	6,3	7	6,3
Gesamthärte	° dH	9,3	72	3,4	29	2,6	15	2,5	7,6	2,2	6,2	2,1	4,1	1,9	4,1	1,9	3,8	1,5	3,4	1,5	3,4
K Mn O <sub>4</sub> -Verbrauch	mg/l	26	1620	19	948	7	540	4	191	3	89	3	64	2	45	2	30	2	26	2	21
Abdampfrückstand	mg/l	360	2682	140	832	86	448	82	280	76	259	76	220	64	208	52	164	52	134	52	126
Glührückstand	mg/l	101	1893	94	584	76	336	71	192	66	166	66	124	64	96	52	32	52	24	52	20
CaO	mg/l	73	564	28	241	22	123	21	56	19	40	18	33	14	29	14	23	12	21	12	19
MgO	mg/l	14	112	4	35	3	19	3	15	2	15	2	13	2	11	2	9	2	8	2	8
Fe <sup>+++</sup> 3)	mg/l	0,1	0,4	0,7	0,4	0,8	0,4	0,5	0,3	0,6	0,3	0,8	0,4	0,8	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,5	0,3
Mn <sup>n</sup> , Cu <sup>n</sup> , Cr <sup>n</sup> , Pb <sup>n</sup> 3)	mg/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ni <sup>n</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>n</sup>	mg/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Al <sup>iii</sup>	mg/l	1,0	0	0,4	0	0,4	0	0,4	0	0,4	0	0,4	0	0,4	0	0,4	0	0,4	0	0,4	0
Ba <sup>n</sup> 3)	mg/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SiO <sub>2</sub>	mg/l	2,5	12,5	2,5	7,5	2,5	7,5	2,5	7,5	2,5	7,5	2,5	7,5	2,5	7,5	2,5	5	2,5	5	2,5	5
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 3)	mg/l	< 1	280	< 1	12	< 1	5	< 1	3	< 1	3	< 1	3	< 1	3	< 1	3	< 1	3	< 1	3
NO <sub>2</sub>	mg/l	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,2	0,4	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,2
NH <sub>3</sub> 3)	mg/l	0,1	1	0,1	0,75	0	0,75	0	0,13	0	0,1	0	0,1	0	0,05	0	0,05	0	0,05	0	+
NH <sub>4</sub>	mg/l	0,106	1,06	0,106	0,79	0	0,79	0	0,134	0	0,106	0	0,106	0	0,053	0	0,053	0	0,053	0	0,053
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> 3)	mg/l	22	1136	13	420	6	151	2	94	0	30	0	5	0	1	0	0	0	0	0	0
Cl <sup>-</sup> 3)	mg/l	3	200	2	180	2	130	2	98	2	30	2	10	1,2	4	1,2	3	1,1	2	1,1	2

S = Müllasche aus Lausanne

K = Müllkompost aus Bad Kreuznach

1) Phenolphthalein-Alkalität

2) Methylorange-Alkalität

3) Die zulässigen Mengen im Trinkwasser in mg/l sind:

Stoff:	Fe <sup>iii</sup>	Mn <sup>n</sup>	Cu <sup>n</sup>	Cr <sup>n</sup>	Pb <sup>n</sup>	Ba <sup>n</sup>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl <sup>-</sup>
Deutschland [2]:	0,1	0,05	0,05	0,05	0,1	—	100	0,5	250	350
USA [5]:	0,3	0,05	1	0,05	0,05	1	45	—	250	250

Tabelle 2. Extraktion von Müllasche und Müllkompost mit kohlesäuregesättigtem, destilliertem Wasser

Benennung	Einh.	Extraktionen																			
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
		S	K	S	K	S	K	S	K	S	K	S	K	S	K	S	K	S	K	S	K
Alkalität m-Wert <sup>1)</sup>		11	23,8	4	20	2,4	18	1,1	17	1	14	0,9	12,4	0,9	9,4	0,9	5,5	0,9	5	0,9	4,5
pH		5,8	6,6	5,8	6,6	5,5	6,6	5,6	6,3	5,8	6,3	6	6,1	5,8	6,1	5,8	6,1	5,5	6	5,5	5,8
Gesamthärte	° dH	35	135	12	80	5,3	69	3,1	59	2,4	49	1,8	42	1,8	31	1,6	24	1,5	14	1,5	11
Abdampfrückstand	mg/l	686	4915	320	1661	146	1520	140	1311	132	1184	126	964	111	812	95	694	78	421	68	266
Glührückstand	mg/l	414	3160	216	1254	111	924	104	810	96	689	91	518	88	398	84	294	76	186	68	102
CaO	mg/l	320	1070	101	700	46	616	25	529	18	440	14	389	10	294	7	212	7	129	7	98
MgO	mg/l	21	216	14	78	5	52	4	43	4	36	4	24	3	12	3	8	2	8	2	7
Fe <sup>iii</sup>	mg/l	8	0,6	7	0,4	6,5	0,4	6,5	0,4	6,5	0,4	6,5	0,3	4	0,3	4	0,4	4	0,3	3	0,3
Cu <sup>n</sup> , Cr <sup>n</sup> , Pb <sup>n</sup> , Ni <sup>n</sup>	mg/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SiO <sub>2</sub>	mg/l	2,5	7,5	2,5	7,5	2,5	7,5	2,5	7,5	2,5	7,5	2,5	7,5	2,5	7,5	2,5	7,5	2,5	7,5	2,5	5
Mn <sup>n</sup>	mg/l	0,45	0	0,3	0	0,2	0	0,1	0	0,1	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

S = Müllasche aus Lausanne

K = Müllkompost aus Bad Kreuznach

1) Methylorange-Alkalität

#### 4. Diskussion der Versuchsergebnisse

Bei den geschilderten Laborversuchen wurde die Müllschlacke schärferen Bedingungen ausgesetzt, als sie in der Natur vorhanden sind. Die Schlacke wurde nämlich einerseits fein aufgemahlen und damit das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen ungünstig verändert, andererseits wurde sie, wie auch der Kompost, mit destilliertem Wasser bei der ersten, mit kohlesäuregesättigtem Wasser bei der zweiten Versuchreihe extrahiert. Hieraus ergibt sich, dass die Versuchsergebnisse zwar exakt untereinander vergleichbar sind, aber auch, dass in der Natur mit geringeren Auswaschungen zu rechnen ist, denn der Regen enthält nur geringe Mengen Kohlenensäure, das Grundwasser gelegentlich grössere. Nie aber ist die Konzentration so hoch wie bei den geschilderten Laborversuchen.

In Tabelle 1 sind die für Trinkwasser zulässigen Höchstkonzentrationen gewisser Ionen angegeben. Sie dienen dem Hinweis auf den Grad der Gefährlichkeit der einzelnen Ionen. Sie dürfen jedoch *nicht direkt* in Beziehung gesetzt werden zu den Eluat, da sie ja in der Natur noch vom Grundwasser verdünnt werden.

#### 5. Folgerungen

##### 5.1 Folgerungen für das Grundwasser

Aus den geschilderten Versuchen ergibt sich, dass für das Grundwasser die Ablagerung von Müllasche ganz wesentlich ungefährlicher ist als die Ablagerung – nicht die feine, dünne Verteilung auf einem Acker – von Müllkompost. In erster Linie ist das Nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) zu beachten, aber auch das Sulfat (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>), bei denen beiden gleich zwei Grössenordnungen mehr aus dem Kompost ausgewaschen werden als aus der Asche, obwohl diese fein gemahlen war. Bei Grundwässern mit von Hause aus hohem Chloridgehalt kann die gleichfalls bei Müllkompost um zwei Grössenordnungen grössere Auswaschung von Chloriden weit eher störend werden, als dies bei der Ablagerung von Müllschlacke der Fall ist. Zu beachten ist ferner, dass aus Müllkompost zehnmal mehr Ammonium ausgewaschen wird als aus Müllasche. Weiterhin ist wichtig, dass die Eluate aus der Müllasche leicht alkalisch sind und infolgedessen weniger zu Reaktionen mit Bodensubstanzen neigen, als die leicht sauren Eluate des Müllkompostes. Inwieweit dieser Gesichtspunkt von Bedeutung ist, hängt jeweils ganz



Tabelle 3. Wasserlöslichkeit von Chromhydroxyd bei verschiedenen Dehydratisierungsstufen

Temperatur °C	Cr-Gehalt nach Temp.-Behandl. mg Cr/g	Cr-Gehalt im Filtrat mg Cr/g	gelöstes Cr %
100	420	0	0
200	550	17	3,1
300	600	54	9
400	643	20	3,1
500	664	12	1,8
600	670	9	1,3
700	677	5,2	0,77
800	680	3,5	0,5
900	683	2,6	0,38
1000	684	1,7	0,25

von der chemischen Zusammensetzung des Grundwassers und der betroffenen Bodenschichten ab.

Die Auswaschung der Härtebildner (CaO und MgO) ist zwar auch bei Asche wesentlich geringer als bei Kompost, doch dürfte das bei der im Grundwasser eintretenden Verdünnung im allgemeinen von untergeordneter Bedeutung sein.

Die Auswaschung von Fe<sup>+++</sup>- und Mn<sup>++</sup>-Ionen ist abhängig vom Säuregehalt des extrahierenden Wassers, wie ein Vergleich der Tabellen 1 und 2 zeigt. Hier sind die Auswaschungen bei kohlen-saurem Wasser aus der – wohl-gemerkt fein aufgemahlene – Schlacke grösser als beim Kompost. Sie sind jedoch auch dann absolut gesehen gering.

In jedem Fall muss man eine – von Fall zu Fall verschieden grosse – Verdünnung durch den Grundwasserstrom berücksichtigen.

### 5.2 Folgerungen für die Ofenkonstruktion

Das so weitaus günstigere Verhalten der Müllasche gegenüber dem Müllkompost im besprochenen Zusammenhang ist vor allem eine Folge der hohen Temperaturen in Gegenwart von Sauerstoff, welche die Salze bei der Verbrennung durchlaufen. Hierbei werden sie z. T. in die Oxydform überführt, die im allgemeinen schwer oder

gar nicht wasserlöslich ist, z. T. bilden sie zusammen mit der Kieselsäure (SiO<sub>2</sub>) glasartige, wasserunlösliche Substanzen. Bei der unübersehbaren Fülle der Kombinationsmöglichkeiten für solche Substanzen aus den im Müll vorhandenen Salzen ist es nicht möglich, Grenztemperaturen anzugeben, die unbedingt überschritten werden müssen, um die Bildung glasartiger Substanzen weit genug zu treiben [4]. Man kann nur ganz allgemein sagen, dass hinsichtlich der Unbedenklichkeit der Schlackenablagerung für das Grundwasser diejenige Müllfeuerung vor anderen den Vorzug verdient, welche die höchsten Feuerbettemperaturen im laufenden Betrieb aufweist. Je höher diese Temperaturen sind, um so mehr glasartige – sprich: wasserunlösliche und somit für das Grundwasser unbedenkliche – Substanzen werden gebildet.

### 6. Zusammenfassung

Anhand vergleichender Laborversuche wurde die in letzter Zeit aufgestellte Behauptung, dass die Ablagerung von Müllschlacke im Gegensatz zur Ablagerung von Müllkompost gefährlich sei, überprüft und das Gegenteil der aufgestellten Behauptung gefunden.

Herrn Dr. H. Scholz, Rüsselsheim, sprechen die Verfasser an dieser Stelle ihren Dank für viele Hinweise und Ratschläge zu dieser Arbeit aus.

### Literaturverzeichnis

- [1] A. Andres: Zur Wirtschaftlichkeit von Kompostierung und Verbrennung. «Kommunalwirtschaft» 4/1964, S. 145 ff.
- [2] H. Kruse: Einheitliche Anforderungen an die Trinkwasserbeschaffenheit und Untersuchungsverfahren in Europa. «Schriftenreihe des Vereines für Wasser-, Boden- und Luftthygiene», Berlin-Dahlem, Nr. 14 a, S. 23 ff.
- [3] C. Schwarz: Wärmetönung metallurgischer Reaktionen. «Archiv für Eisenhüttenwesen» 1953, S. 285 ff.
- [4] W. Eitel: Physikalische Chemie der Silikate, 2. Auflage 1941, Barth-Verlag, Leipzig.
- [5] C. V. Wright: Neue Grenzwerte für die chemische Beschaffenheit von Trinkwasser, GWF 1963, S. 761.

Adresse des Verfassers: *Otto Wolfskehl*, Heinrich-Delphstr. 229, D 61 Darmstadt-Eberstadt.

## Hochstrasse in Genua

DK 625.712.36:624.7

Neuerdings steht in Genua eine 5 km lange Hochstrasse in Betrieb, welche eine direkte Verbindung zwischen den Plätzen Foce und San Benigno längs der Hafenufer darstellt und direkt in die Autobahn Genua-Serravalle mündet. Der Stadtkern bleibt unberührt, da die Durchfahrt Levante-Ponente erleichtert werden soll. In einem Aufsatz in der Zeitschrift «Costruzioni Metalliche», Heft 5 vom September-Oktober 1965, aus der Feder des Projektverfassers Prof. Dr. Ing. Fabrizio de Miranda, Mailand, werden die Grundlagen der Projektierung eingehend behandelt.

Der Autor legt die Vorteile von Hochstrassen als radial oder tangential durch ein Stadtgebiet geführte Hochleistungsstrassen dar. Die Aufwendungen für Expropriationen sind niedrig. Der Raum unter den Hochstrassen steht zur freien Verfügung für den fließenden oder ruhenden Verkehr. Die Einfügung in das bestehende Strassennetz lässt sich wirkungsvoller bewerkstelligen. – Zur Bestimmung der charakteristischen Dimensionen sind umfangreiche Vergleiche mit amerikanischen und deutschen Normen sowie mit Beispielen anderer italienischer Städte angestellt worden. Die wichtigsten Daten für die Hochstrasse in Genua lauten:

Fahrspuren, für jede Richtung getrennt, je	2
Breite der Fahrspuren	3,50 m
Gehwege	0,70 m
Zwischenstreifen	0,70 m
Ausbaugeschwindigkeit	50 ÷ 60 km/h
Horizontale Radien max.	150 m
Längsgefälle max. auf der offenen Strecke	1 %
bei Anschlussstellen	8 %
Quergefälle in den Geraden	1,5 %
in den Kurven	5 %
Minimale Höhe unter der Brücke	5,0 m

Bei der Gestaltung der Brücke war einerseits in ästhetischer Hinsicht auf die historische Architektur der Stadt Rücksicht zu nehmen, andererseits aber auf die Verbindung zu den Hafenanlagen mit den Kranen und Schiffen zu achten. Die Anzahl und die Abmessungen der Unterstützungen waren möglichst klein zu halten, da Einschränkungen im bestehenden Verkehr vermieden und die Bauzeit kurz ge-

halten werden sollten. Zur Erreichung der optimalen Lösung sind fünf verschiedene Varianten von Querschnitten und statischen Systemen untersucht worden. Die Summe der Kosten von Unterbau und Balkenkonstruktion, dargestellt in Abhängigkeit von der Stützweite, soll minimal sein. Die eingehenden Studien, welche ausführlich dargestellt werden, ergaben als günstigsten Abstand 20 bis 30 m. Die Stützen sind als T gestaltet, auf dessen beiden Konsolen (in Stahl) je ein Fahrbahnträger aufgelagert ist (Bild 1). Als Fahrbahnträger wurde eine Verbundträger-Konstruktion gewählt. Die einen offenen Trapezquerschnitt aufweisenden, geschweissten Stahlträger wurden in der Werkstatt hergestellt und in 25 m langen Stücken auf der Baustelle versetzt und verschraubt. Die Fahrbahnplatte in Eisenbeton ist in der Längsrichtung vorgespannt. Alle 5 bis 6 Felder folgt eine Dilatationsfuge.

Die soeben fertiggestellte Strasse stellt ein bemerkenswertes Beispiel einer Hochstrasse dar; der eingangs erwähnte Aufsatz ist allein schon wegen seiner eingehenden Darstellung von Grundlagen und Konstruktionseinzelheiten lesenswert. Der Materialaufwand für das eigentliche Brücken-Bauwerk mit einer Konstruktionslänge von

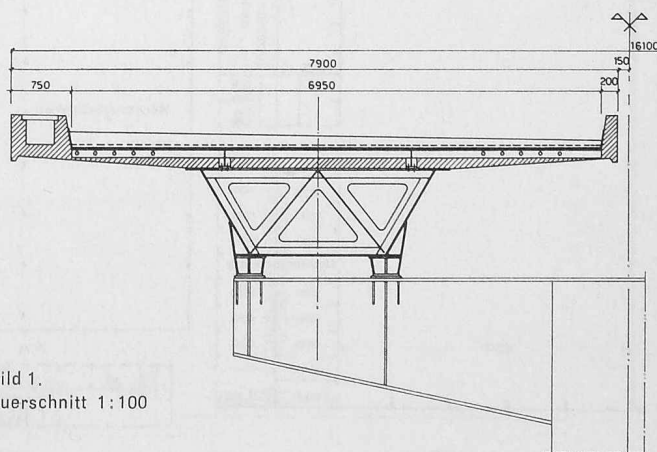


Bild 1. Querschnitt 1:100