

## Einsatz von polymeren Bindemitteln im bautechnischen Bereich

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer

### 1 Einleitung

Die Arbeiten auf den Gebieten der Verfestigung von mineralischen Stoffen mittels polymerer Bindemittel reichen weit zurück. Erstmals wurde in /1/ der Einsatz eines Butadiens für den Straßen und Wegebau vorgestellt.

Hierbei handelte es sich um Entwicklungsprozesse die vorrangig von der Fa. Hüls AG, Marl, durchgeführt worden sind. Das Ergebnis war das Basisprodukt 'Univest' sowie 'Terravest', das als flüssiges Polybutadien, mit einer mittleren Molmasse  $M = 1800 \pm 15 \text{ [g/mol]}$  zur Verfestigung mineralischer Stoffe eingesetzt wurde.

Das ungesättigte Polymer mit 72 % cis-Konfiguration, 27 % trans-Konfiguration und 1 % vinyl-Konfiguration an den Doppelbindungen reagiert bei der Verarbeitung mit Luftsauerstoff. Durch Vernetzung der Polybutadienketten verfestigt sich der Stoff.

Die Verarbeitung erfolgt durch Mischen des hochviskosen Polybutadiens mit den Zuschlagstoffen (z.B. Quarzsand).

Der Bindemittelanteil beträgt zwischen 2 bis 5 [M - %]

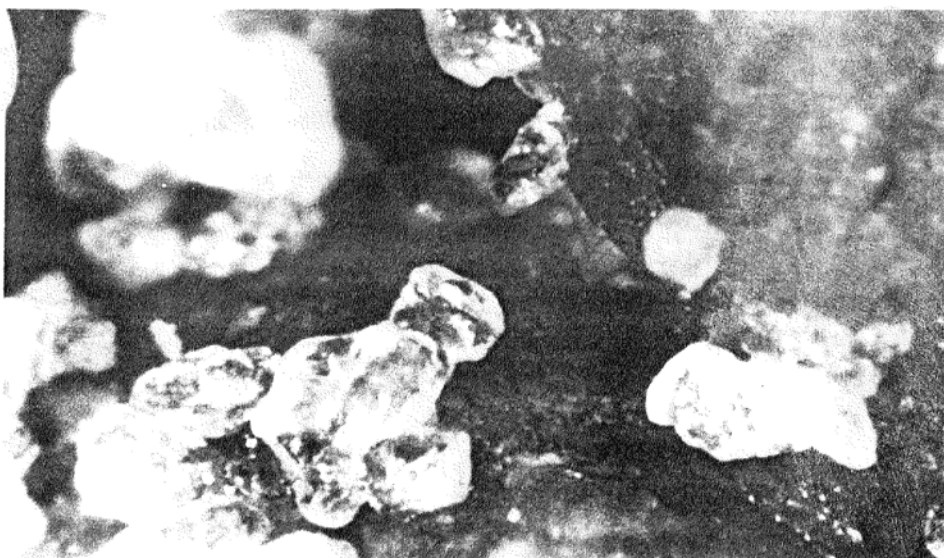
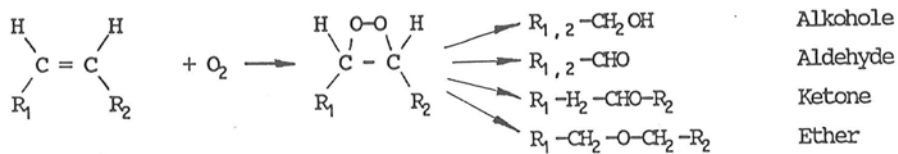




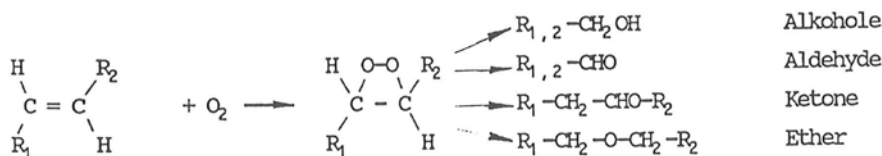
Bild 1 Mikroskopaufnahmen

Wie auf Bild [1] zu erkennen, werden die einzelnen Kornpartikel umhüllt und an ihren Berührungspunkten verklebt. Die Hohlräume zwischen den einzelnen Partikeln bleiben erhalten. Die Größe des verbleibenden Hohlraumes ist abhängig vom Bindemittelgehalt. Eine variable Einstellung des Porenraumes ist möglich.

Die oxidativen Aushärtungen mit Luftsauerstoff zeigen die chemischen Reaktionsgleichungen.



1,4 cis



1,4-trans

Bild 2 Chemische Reaktionen

Aufgrund der chemischen Reaktionsgleichung wird deutlich, dass beim Erhärtungsprozess durch die Sauerstoffoxidation Aldehyde freiwerden, die an die Umgebungsluft abgegeben werden. Bei umfangreichen Untersuchungen des Fraunhofer Institutes für Holzforschung, WKI in Braunschweig, wurden keine Aldehydkonzentrationen oberhalb der MAK - Werte festgestellt. Bedingt durch die Sensibilisierung

auf dem Gebiet der Formaldehyd-Betrachtungen wird aber ein Einsatz im Inneren von Gebäuden z. Z. als nicht aussichtsreich betrachtet.

Mögliche Änderungen im Basisprodukt Univest müssen hier genauer untersucht werden.

Die ersten Entwicklungen des Polybutadiens waren gegen Wasser nur unzureichend beständig. Durch umfangreiche Modifikationen ist es im Weiteren gelungen eine gewisse Wasserstabilität zu erreichen.

## 2 Einsatzgebiete

Bei den im Folgenden dargestellten Einsatzgebieten handelt es sich um theoretische und baupraktische Einsatzmöglichkeiten des Baustoffes.

- Estrichsysteme bei Altbausanierungen (ohne Wasserzusatz für den Bau) u. Schnellestrichsysteme
- Material für Natursteinpflasterfugen
- Begrünung und Verfestigung geneigter Flächen und Böschungen
- Flugsandverfestigung ( Staub- und Kohlehalden )
- Ziegelherstellung
- Spachtelmassen im Dünnbettverfahren
- Haftbrücken
- Bodenverfestigungen
- Straßen und Wegebau
- Sportplatzbau
- Boden- und Baugrundverfestigung
- Beschichtungen
- Wärmedämmverbundstoffe
- Sanierungsprodukte
- Stein- und Fassadensanierung
- Betonsanierung
- Putzsanierung
- Steinkonservierung
- Stoffkonservierung
- Einkapselungen ( Schutz gegen Emissionen )
- Deponiesanierungen
- Abfallverfestigung
- Schadstoffkonservierung

In Teilbereichen sind hierbei experimentelle und/oder kommerzielle Verfahrensweisen entwickelt worden.

## 2.1 Erfahrungen

Mit polymeren Bindemitteln wird zurzeit auf dem Gebiet der Estrichsysteme sowie im Pflaster- und Fugenbereich kommerziell gearbeitet. Hierbei zeigen die Arbeitsweisen im Freien eine unproblematische Handhabung des Polymeren.

Das Verfestigen von mineralischen Untergründen erfolgt durch Aufsprühen, Aufgießen oder Beimischen. Hierbei sind Mischvorgänge nicht zwingend erforderlich. Nachträgliches Verfestigen durch Aufsprühen ist möglich. Hierbei wird im Weiteren eine Erhöhung der Abriebfestigkeiten erreicht.

Die Eindringtiefen sind von den eingesetzten Bindemittelmengen abhängig. Inwieweit dickere Bodenschichten durch Aufbringen des Materials verfestigt werden können, müsste in Versuchen nachvollzogen werden. Eine Injektion des Materials ist möglich. Die Erhärtungsprozesse müssen in ergänzenden Untersuchungen bestimmt werden.

Von der Fa. Hüls, Marl wurden mit Hilfe des Basisproduktes Univest umfangreiche Verfestigungen und die Herstellung von künstlichen Sandsteinen im mediterranen Bereich durchgeführt. Hierbei zeigt die einfache Handhabung der unterschiedlichen Materialien unterschiedliche Anwendungen in situ.

## 3 Darstellung der durchgeführten Untersuchungen

Aus der Vielzahl der durchgeführten Versuche [2] sind die wesentlichen Kenngrößen zusammengestellt.

### 3.1 Bestimmung der Festigkeitseigenschaften

Wie dargestellt, erfolgt die Polymerisation über einen oxydativen Prozess. Die erforderliche Zeit zum Erreichen einer ausreichenden Anfangsfestigkeit beträgt i.A. zwischen 10 und 24 Stunden. Sie ist abhängig von Temperatur und Feuchtegehalt des zu verfestigenden Materials. In Bild [3]+[4] sind die Druckfestigkeiten und Biegezugfestigkeiten bei unterschiedlichen Bindemittelgehalten dargestellt.

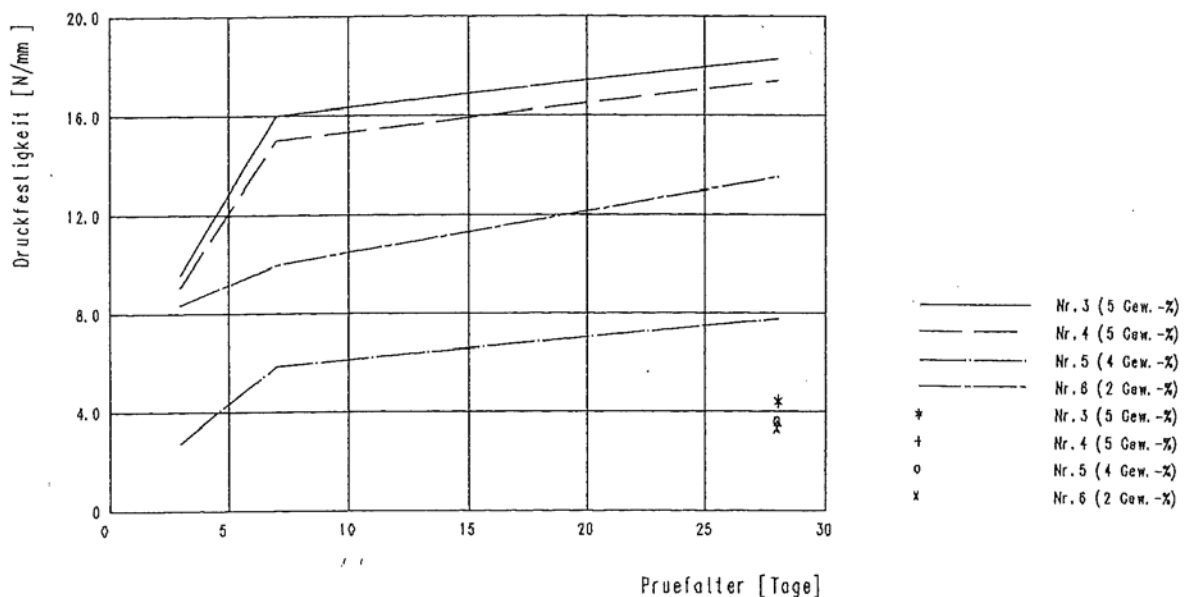
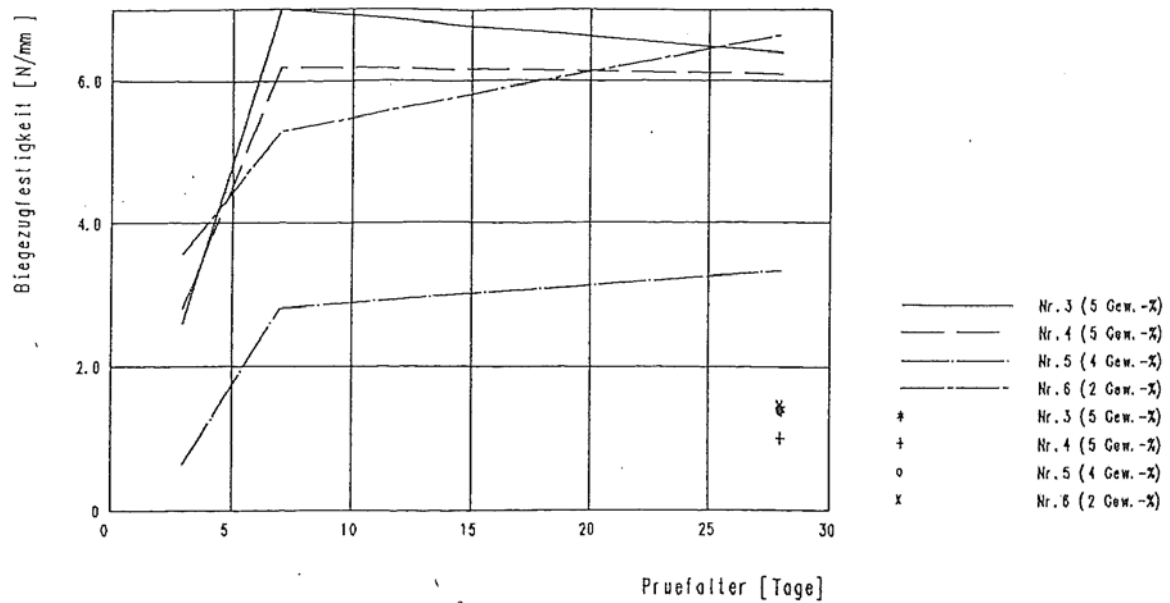


Bild 3  $\sigma_d$  (Druckfestigkeit)

Bild 4  $\sigma_b$  (Biegezugfestigkeit)

Aus dem Diagramm ist zu erkennen, dass die Feuchtfestigkeiten (im Diagramm; Einzelwerte) deutlich unterhalb der Trockenfestigkeiten (Kurvendarstellung) liegen.

### 3.2 Eluatverhalten des Polymers

In Vorversuchen wurde das Eluatverhalten von Stoffen untersucht. Das Eluatverhalten veränderte sich durch die Verfestigung mit dem Polymer wie dargestellt:

	Deponiestoff unbehandelt	Deponiestoff mit Polymer verfestigt	
pH- Wert	7,07	4,56	[-]
El. Leitfähigkeit	954	265	[ $\mu$ S/cm]
Mineralölkohlenwasserstoffe			[mg/l]
Phenolindex	58.3	11.5	[mg/l]
Ammonium	1.49	< 0.1	[mg/l]
Sulfat	50	23	[mg/l]
Chlorid	77	15	[mg/l]
Nitrit	0.025	< 0.01	[mg/l]
Calcium	63.1	11.2	[mg/l]
Magnesium	61.4	4.1	[mg/l]
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	4116	1080	[mg/l]

In der Untersuchung der chemischen Beständigkeit gegenüber verschiedenen Medien wurde das Basisprodukt Univest untersucht.

Die Ergebnisse finden sie in der nachfolgenden Tabelle.

	A "trocken"			B "naß"	
	Druck- festig- keit N/mm <sup>2</sup>	Biegezug- festigkeit N/mm <sup>2</sup>	Färbung Verfärb. Lösung/ Prisma	Druck- festig- keit N/mm <sup>2</sup>	Biegezug- festigkeit N/mm <sup>2</sup>
Leitungswasser	11.0	5.6	h / +	2.6	1.5
synthetisches Meerwasser	9.4	4.8	h / r	2.0	1.1
Natronlauge 10 %	1.0	0.3	d / --	-	-
Kalilauge 5 %	0.3	0.1	d / --	-	-
Ammoniak 5 %	1.9	0.8	g / --	0.2	0.05
Salzsäure 10 %	3.5	0.8	b / ++	0.5	0.2
Salpetersäure 10 %	9.5	3.7	g / ++	0.4	0.1
Schwefelsäure 10 %	7.7	3.5	o / r	1.5	0.7
Essigsäure 10 %	9.9	5.3	o / +	1.1	0.6
Ameisensäure 10 %	7.0	4.1	o / +	0.7	0.3
Milchsäure 5 %	8.6	4.9	g / ++	0.7	0.3
Natriumcarbonat 10 %	2.7	1.2	b / o	0.2	0.2
Natriumchlorid 10 %	9.4	4.2	h / o	2.0	1.3
Wein	8.8	3.7	- / ++	1.3	0.6
Methanol	8.7	2.9	h / o	0.3	0.1
Äthanol 80 %	9.9	2.8	- / o	0.2	0.1
Essigsäureäthylester	9.1	2.7	- / *	0.4	0.2
Benzin-Kraftstoff	10.6	5.0	- / r	1.0	0.3
Diesel-Kraftstoff	9.4	5.7	- / o	6.1	3.7
Aceton	9.7	4.0	h / c	0.3	0.1

Bild 5 Ergebnisse der Untersuchung

Im Weiteren wurden Biegefestigkeiten vor und nach verschiedenen UV-Bestrahlungsdauern im Xenon-Test (Alterungstest) durchgeführt.

Es zeigt sich, dass die mittleren Biegefestigkeiten hierbei keine signifikanten Unterschiede aufweisen.

## 4 Versuche mit Recycling Produkten

### 4.1 Versuchsvorbereitung

Von der Firma Manzke, Lüneburg wurden uns folgende Materialien zur Verfügung gestellt. Die Stoffe sind der Produktpalette der Baustoff-Recycling-Anlage entnommen. Es handelt sich hierbei jeweils um Sande unterschiedlicher Sieblinie.

- Recyclingsand
- Ziegelsand 0/2
- Remix Baustoffe
- Zyklonsand
- Sand / Vorabzug-Brecher

Diese Proben wurden jeweils unter gleichen Bedingungen mit einem Bindemittelgehalt des Polymers von 5 % gemischt. Die Proben wurden ca. 3 Wochen in Schalungen gelagert.

Es wurde die Ermittlung der Rohdichten sowie der Druckfestigkeiten vorgenommen.

### 4.2 Optische Beurteilung

Nach dem Ausbauen der Proben aus der Schalung konnte folgendes festgestellt werden:

- Die Proben Recyclingsand, Zyklonsand und Sand - Vorabzug-Brecher wiesen eine feste Struktur auf.
- Die Proben des Remix-Baustoffes zerfielen beim Ausbau völlig, so dass eine Ermittlung der Kenndaten unmöglich wurde.
- Beim Ziegelsand 0/2 traten ebenso leichte Auflösungserscheinungen auf.

### 4.3 Bestimmung der Rohdichte

Die Bestimmung der Rohdichte wurde durch Tauchwägung ermittelt. Es zeigten sich die Ergebnisse:

Probe	Rohdichte		
		[g/cm <sup>3</sup> ]	
Recyclingsand	1.51	1.55	1.56
Ziegelsand 0/2	1.52	1.47	1.52
Remix Baustoffe		nicht zu bestimmen	
Zyklonsand	1.35	1.32	1.32
Sand – Vorabzug-Brecher	1.40	1.41	1.40

#### 4.4 Bestimmung der Druckfestigkeit

Bei der Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit ergab sich das nachstehende Bild.

Probe	Druckfestigkeit		
	[kN/m <sup>2</sup> ]		
Recyclingsand	1919.3	1702.4	1552.2
Ziegelsand 0/2	1919.3	2112.0	2112.0
Remix Baustoffe	nicht zu bestimmen		
Zyklonsand	2790.5	1919.4	2464.0
Sand – Vorabzug-Brecher	178.7	107.2	125.1

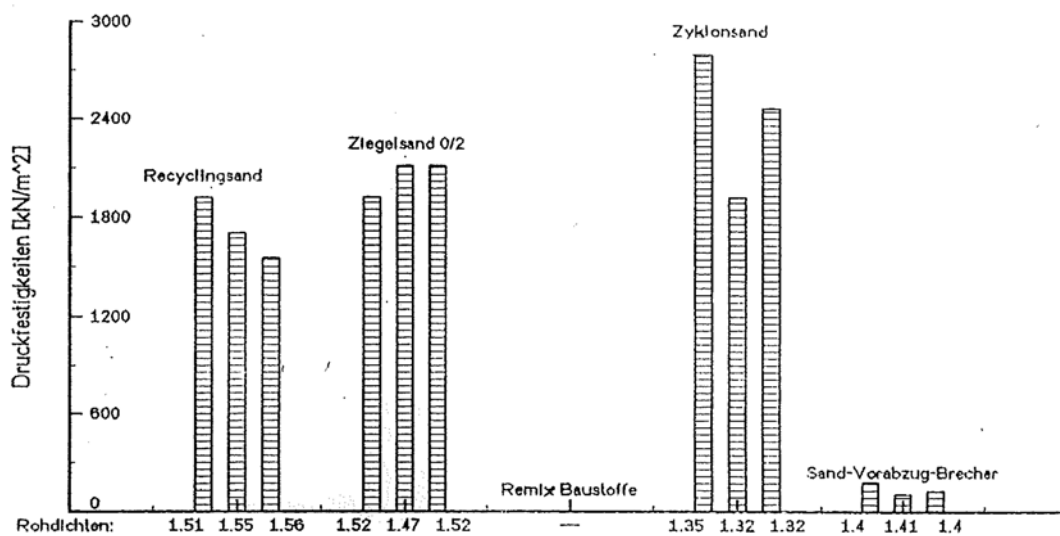


Bild 6 Druckfestigkeiten und Rohdichten der Proben

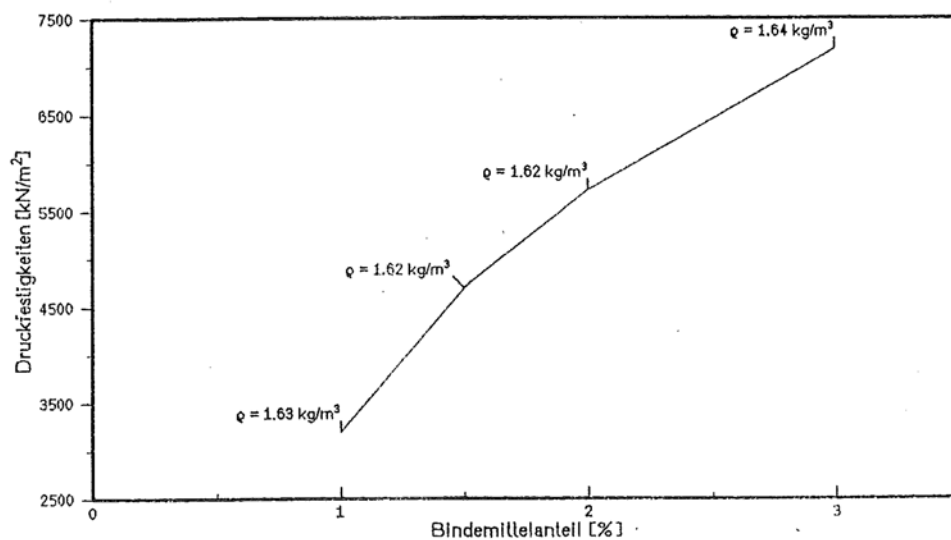


Bild 7 Einaxiale Druckfestigkeiten der Proben in Abhängigkeit vom Bindemittelanteil



## 5 Verfestigung/Sicherung von dioxinhaltiger Kupferschlacke

Hierbei besteht die Möglichkeit durch Aufbringen des Materials auf dioxinhaltigen Kupferschlacken eine Oberflächenverfestigung durchzuführen und somit eine Umweltgefährdung durch Staub und abgeschwemmtes Material zu verringern.

Dies kann einerseits als temporäre Sofortmaßnahme geschehen und damit entscheidend die jetzige Situation verbessern, andererseits bei minder belasteten Flächen auch als Dauerlösung fungieren, um geeignete neue Deckschichten aufzunehmen.

Die Oberflächenverfestigung ist nicht nur bei Plätzen, sondern auch bei Halden und Böschungen durchzuführen. Grundlegende anwendungsspezifische Untersuchungen zur Festlegung der Auftragsmengen und -verfahren sind notwendig. Bei hoch belasteten Böden besteht durch die Verfestigung die Möglichkeit, diese Stoffe sicher rückzubauen und in geeigneten Deponien zu lagern.

Das Eluatverhalten von dioxinhaltigen Kupferschlacken ist noch nicht in diesen Versuchsprogrammen analysiert worden. Die bisherigen Versuche zeigen, dass sich wahrscheinlich positive Möglichkeiten einer Sanierung ergeben.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass der Firma Hüls in Marl ein Basisprodukt Uninvest zur Verfügung steht, dass für viele Bereiche des Bauwesens Einsatz finden könnte.

Hierbei ist jedoch zu beachten, dass infolge der in der Vergangenheit zum Teil auch emotionsgeladen geführten Diskussionen eine Modifikation des Produktes notwendig ist, um die Aldehyd-Abgabe während des Erhärtungsprozesses weiter zu senken. Erst dann ist unserer Meinung nach ein Einsatz im Innern von Gebäuden denkbar.

- 
1. Ehlers, Schriftenreihe Straßenwesen Heft 6, 1982
  2. Nordlabor, TÜV in Essen