

## **Qualität von HMV-Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen unterschiedlicher Verfahrenstechnik**



## Forschungsprojekte

Forschungszentrum Karlsruhe  
in der Helmholtz-Gemeinschaft



UNIVERSITÄT  
KARLSRUHE (TH) ISE

### ITC/TAB

#### Projekt Wasser/Abfall/Boden (BW)

- Langzeitverhalten und bautechnische Eignung von Müllverbrennungsreststoffen (1994 - 1996)
- Qualitätsverbesserungen von MV-Schlacken (1997 - 1999)

#### BMB + F

- Einfluss geänderter Stoffströme in der Abfallwirtschaft auf die zukünftige Qualität und die Verwertungsmöglichkeiten von Müllverbrennungsschlacken (2001 - 2004)



Karlsruhe Institute of Technology

## **Schwerpunkte des BMB + F-Forschungsprojektes**

- **Umweltverträglichkeit**
  - DEV S4-Test
  - Availability-Test (Verfügbarkeitstest)
  - Kolonnentest
- **Bautechnik**
  - ausgewählte Parameter, die für den Einsatz im Straßen- und Erdbau Anwendung finden
- **Mineralogie**
  - Charakterisierung
  - Alterationsverhalten und Raumbeständigkeit
- **Prüfverfahren:**  
**Bewertung der Raumbeständigkeit von HVM-Schlacken auf mineralogischer Basis**

## Qualität von HMV-Schlacken aus verschiedenen MVA

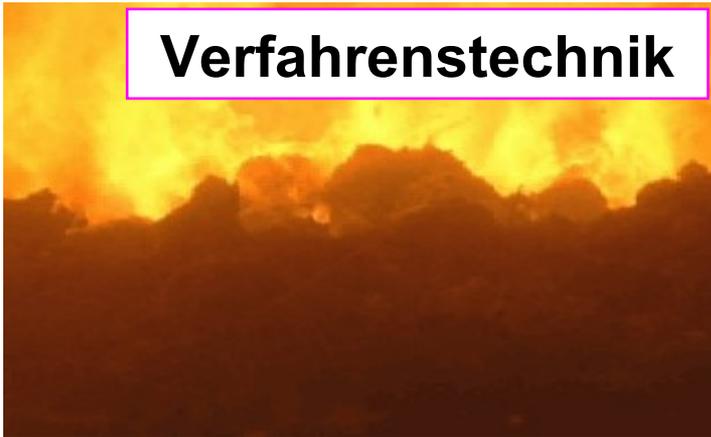
**Müllinput**



**Aufbereitungstechnik**



**Verfahrenstechnik**



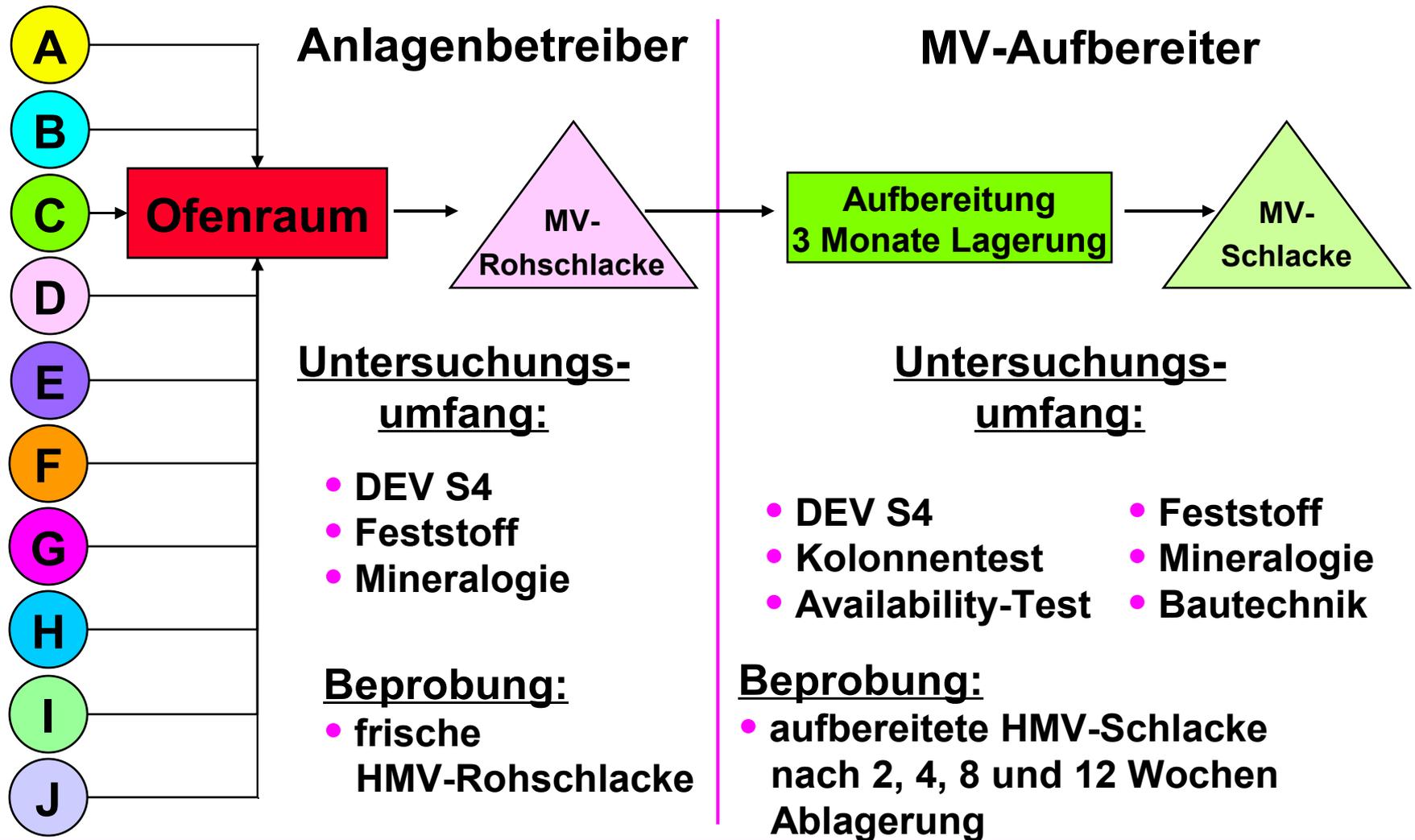
**Ablagerungsart und -zeit**



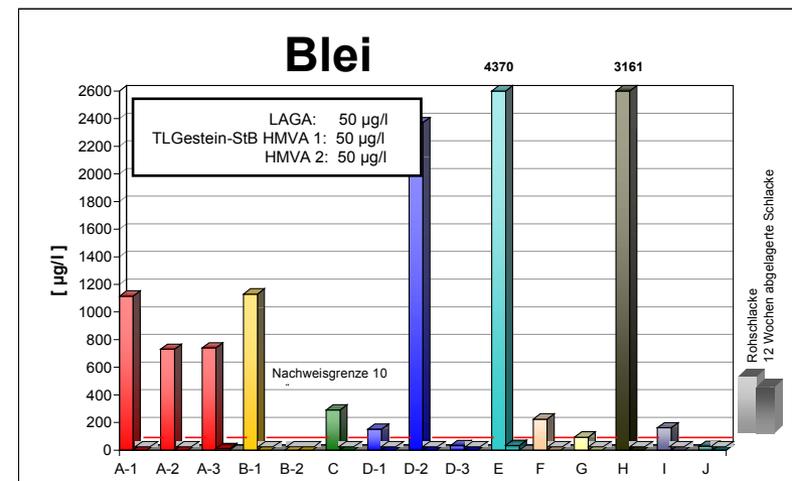
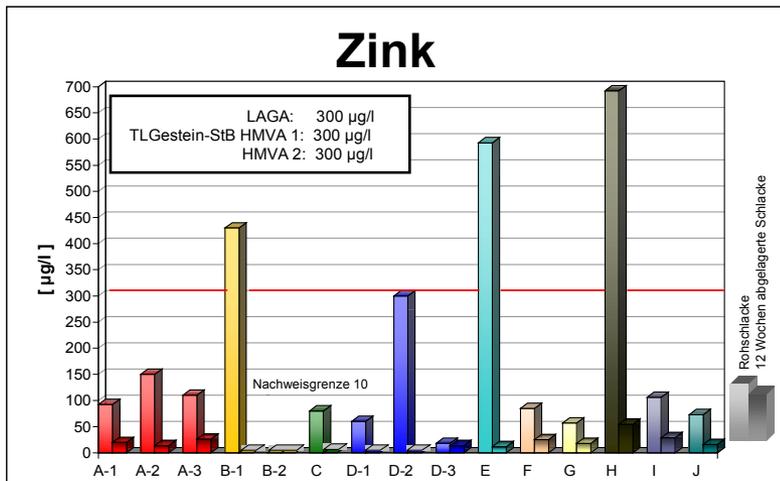
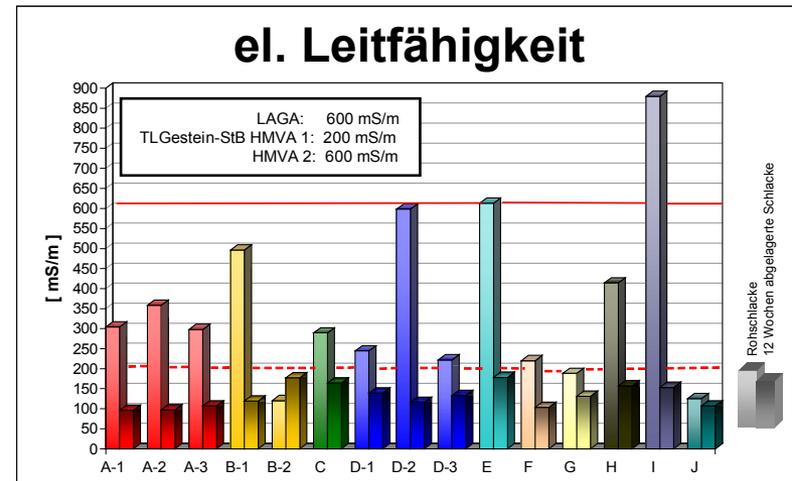
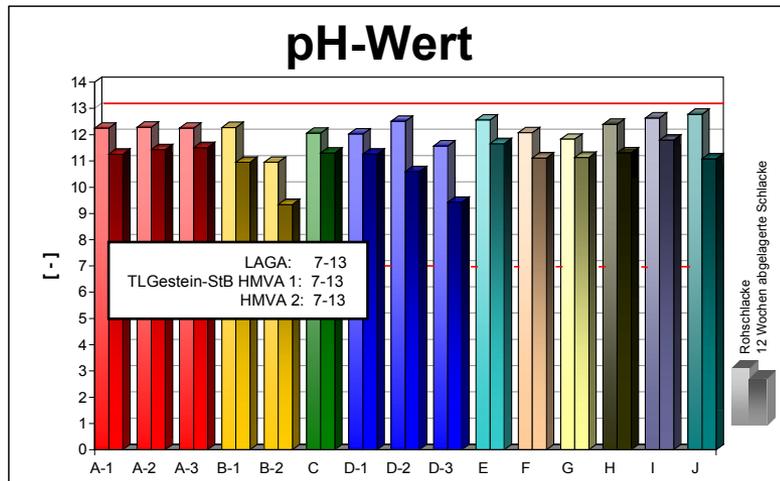
## Verfahrens- und Aufbereitungsparameter

Müllverbrennungsanlagen			Aufbereitungsanlagen				Lagerung
Anlage	Rostsystem	Feuerraumgestaltung	Sieb- vorgänge	FE- Abtrennung	NE- Abtrennung	Aufbereitung	Lagerung
A	Vorschubrost	Mittelstrom	1	x	_____	Freiland	Freiland
B	Walzenrost	Gleichstrom	mehrere	x	x	eingehaust	Freiland
C	Vorschubrost	Mittelstrom	mehrere	x	x	eingehaust	Freiland
D	Walzenrost	Gleichstrom	1	x	_____	Freiland	Freiland
E	Rückschubrost	Umlauf Dampferzeuger	mehrere	x	x	eingehaust	Freiland
F	Treppen Vorschubrost	Mittelstrom	1	x	_____	Freiland	Freiland
G	Vorschubrost	Mittelstrom	mehrere	x	x	eingehaust	Freiland
H	Gegenlauf- überschubrost	Gegenstrom	1	x	_____	Freiland	Freiland
I	Vorschubrost	Mittelstrom	mehrere	x	x	eingehaust	eingehaust
J	Vorschubrost	Mittelstrom	mehrere	x	x	eingehaust	eingehaust

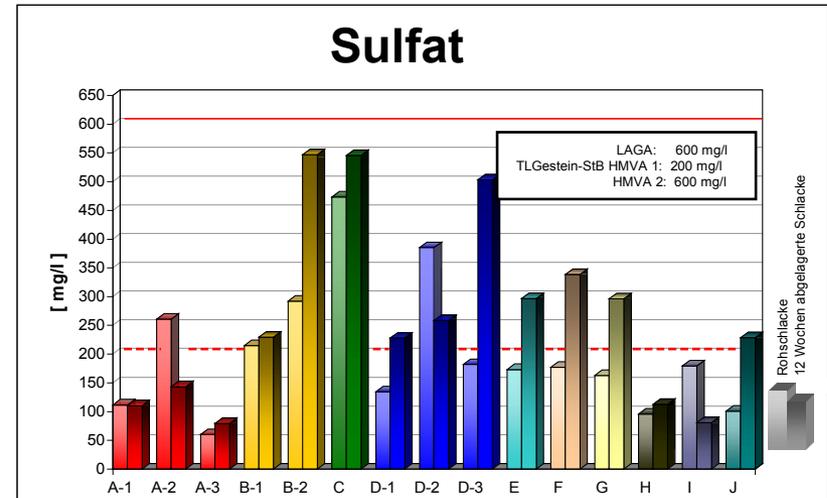
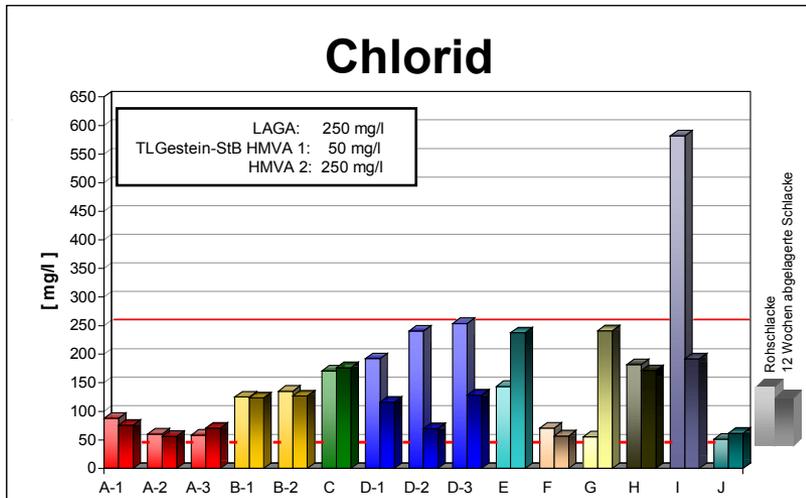
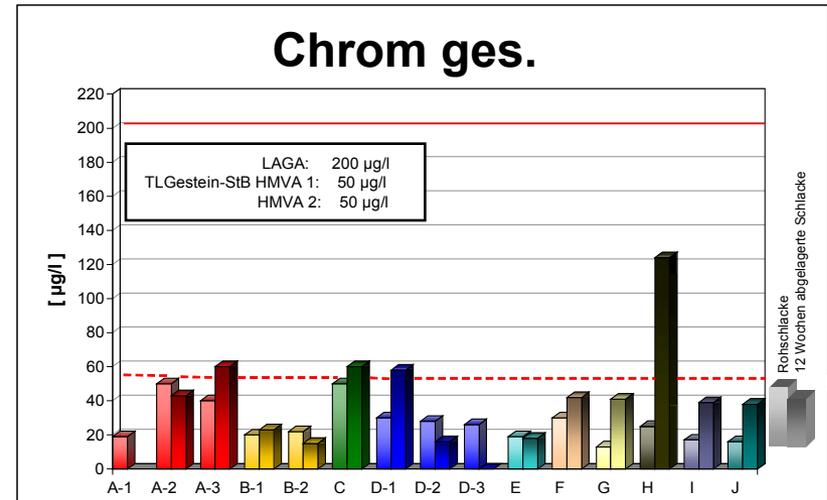
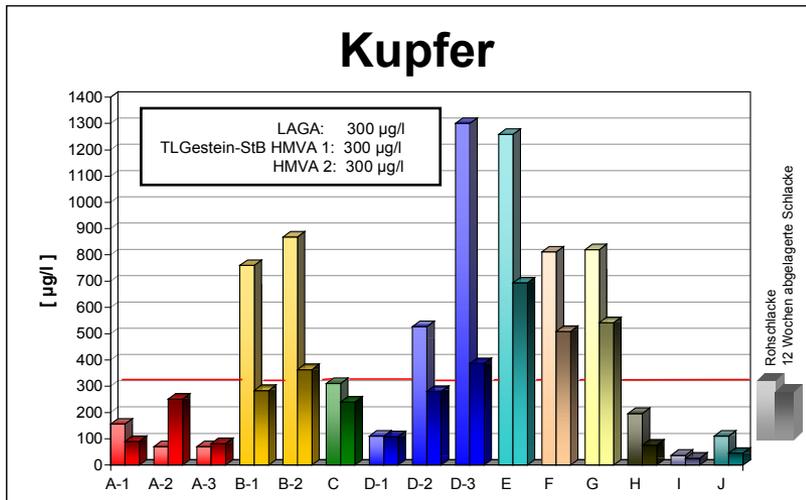
## Untersuchungsumfang



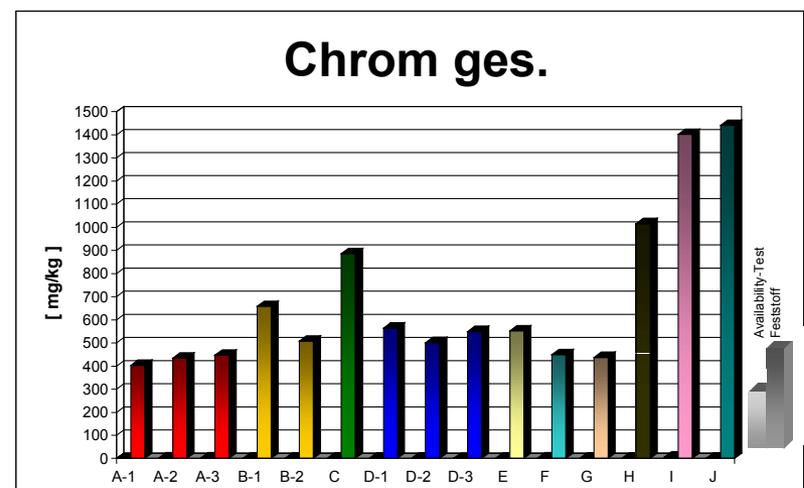
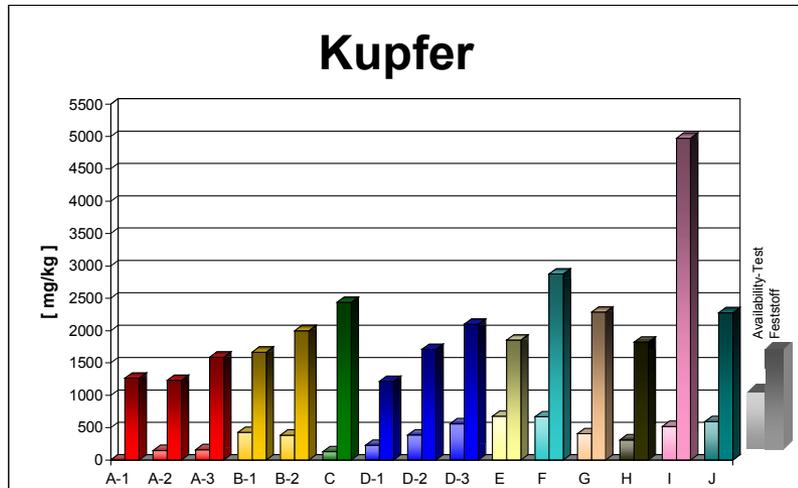
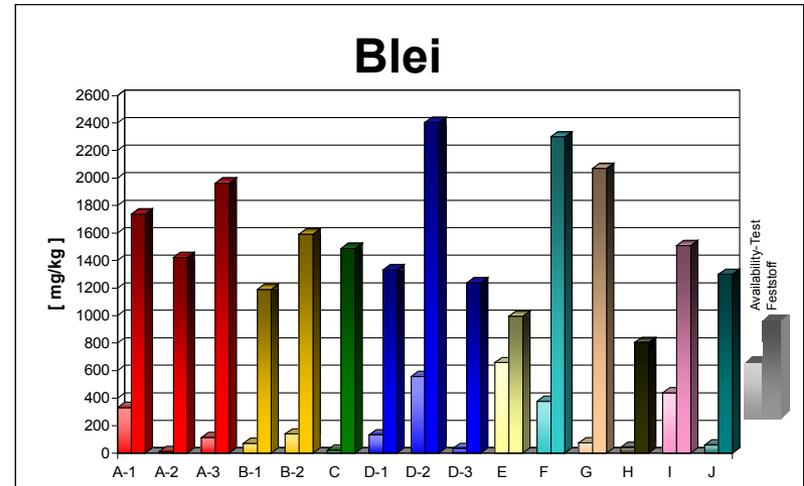
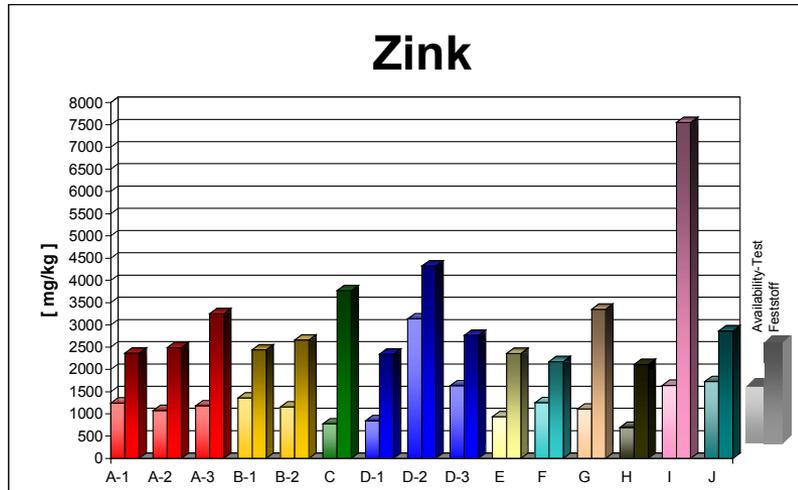
# Umweltverträglichkeit: DEV S4



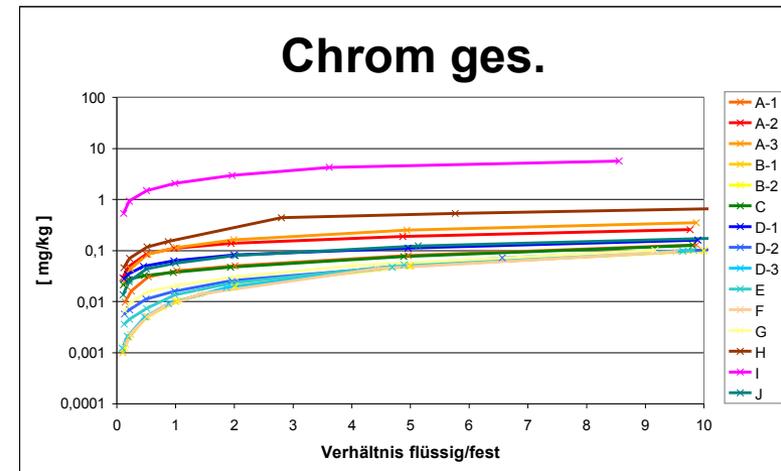
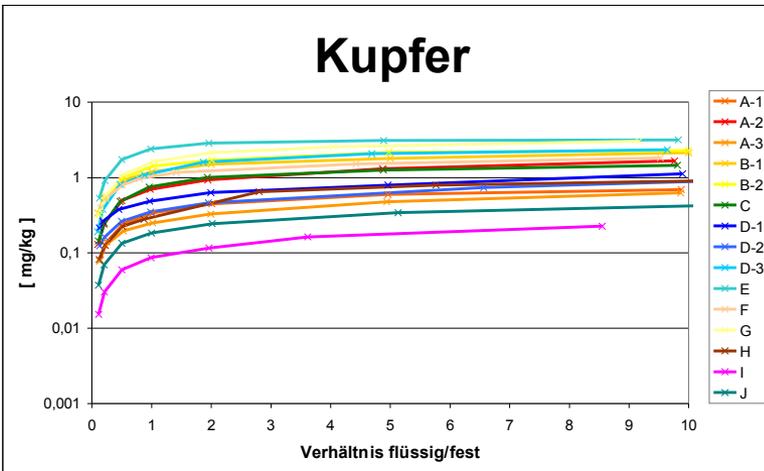
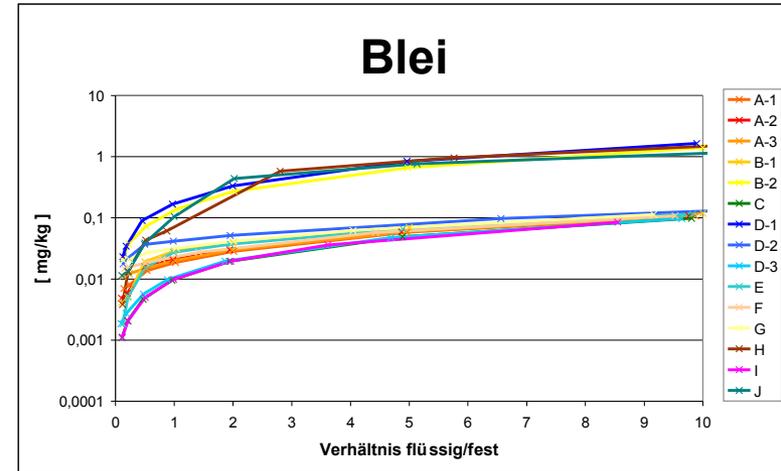
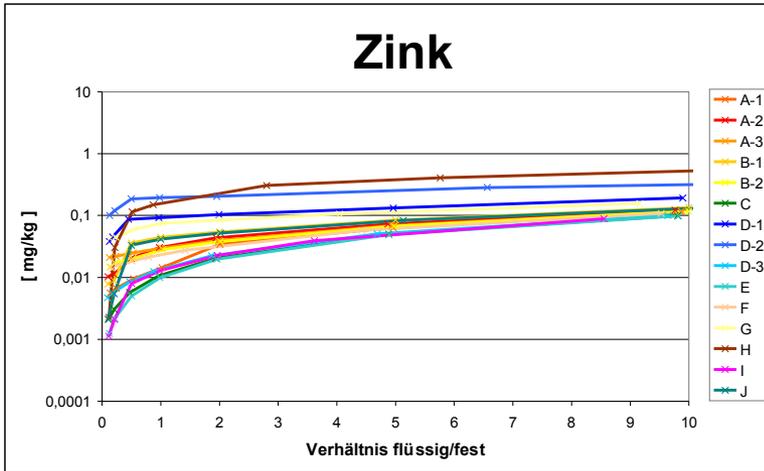
# Umweltverträglichkeit: DEV S4



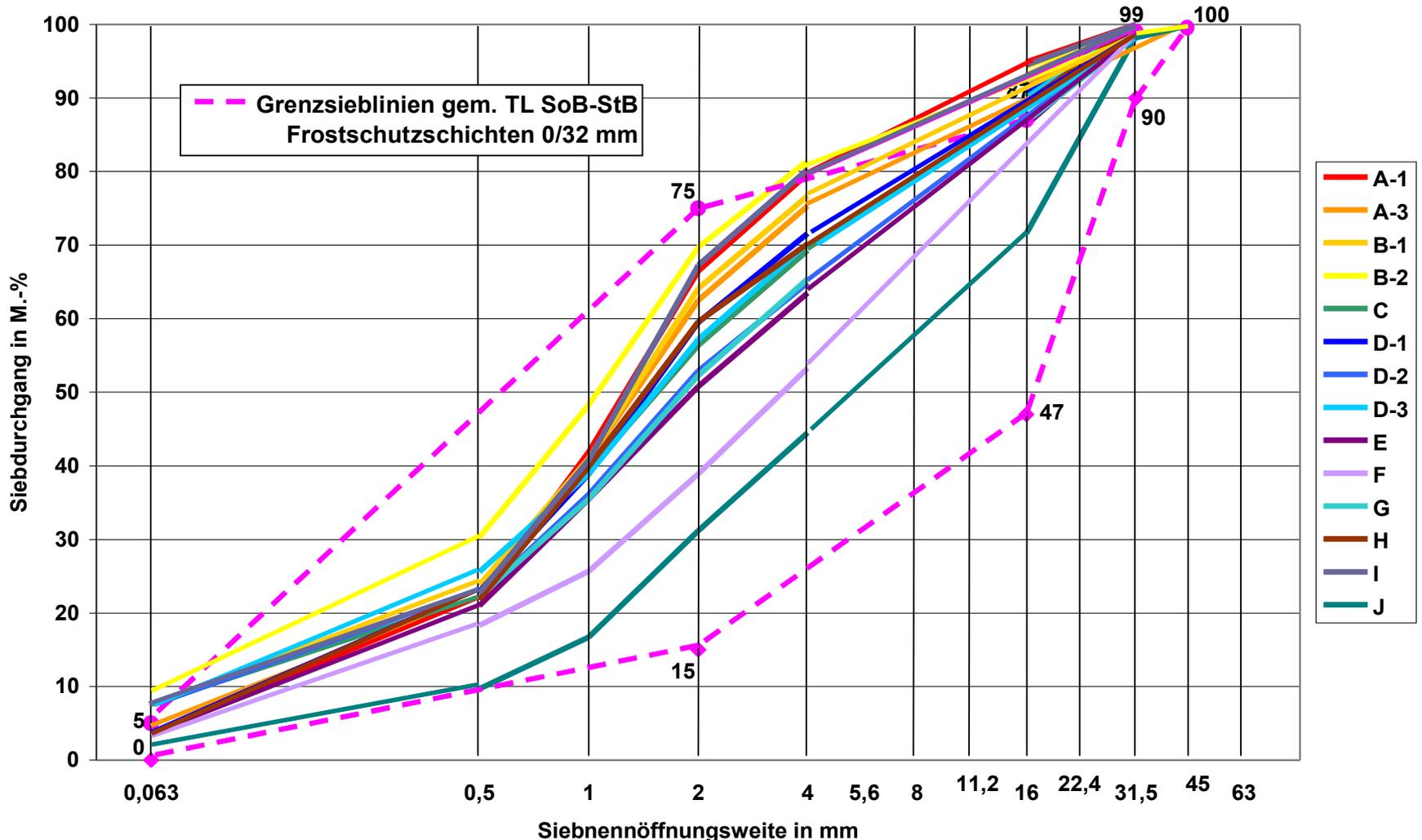
# Umweltverträglichkeit: Availability-Test und Feststoffgehalt



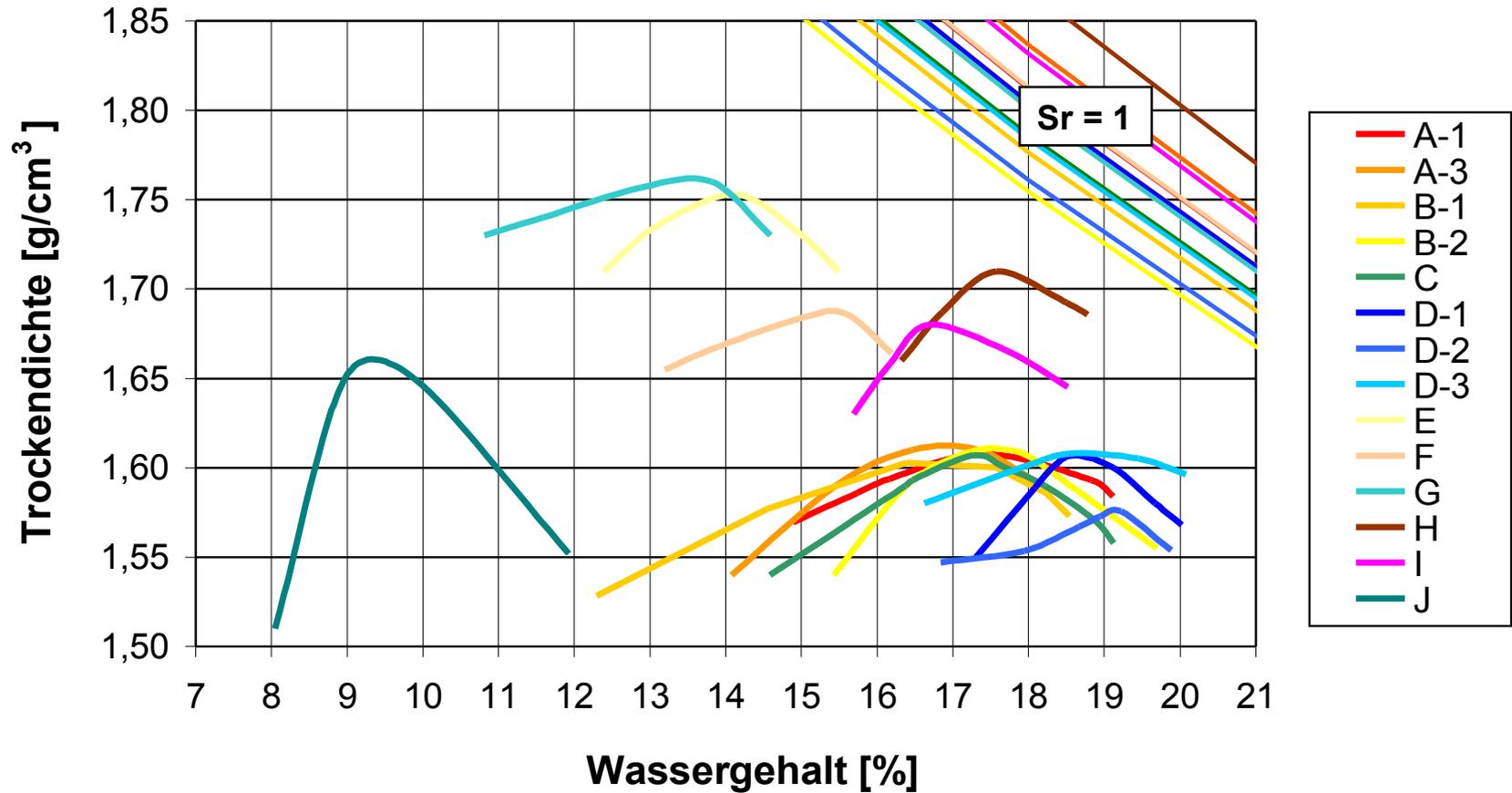
# Umweltverträglichkeit: Kolonnentest



# Bautechnik: Korngrößenverteilung



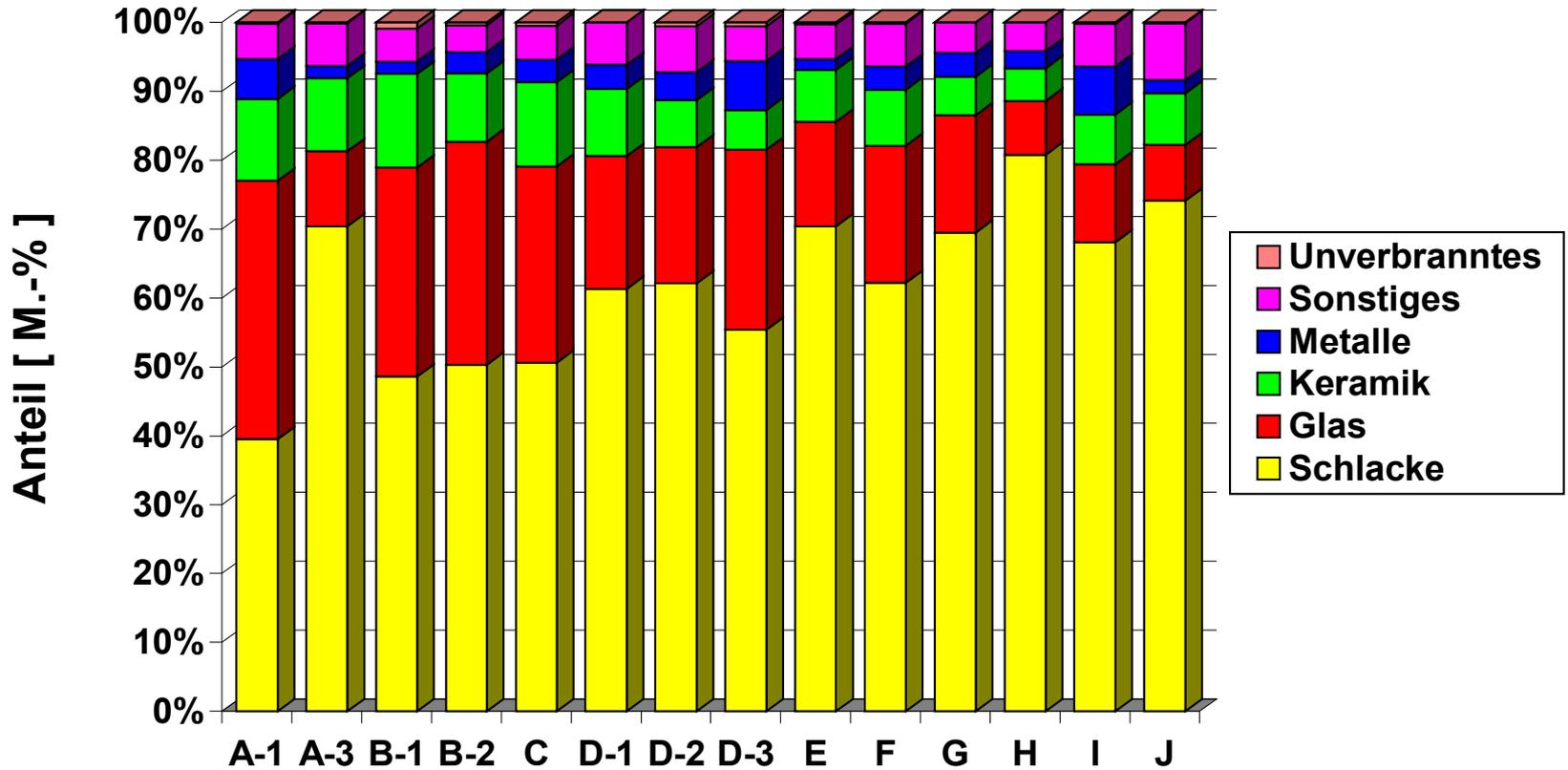
# Bautechnik: Proctorversuche



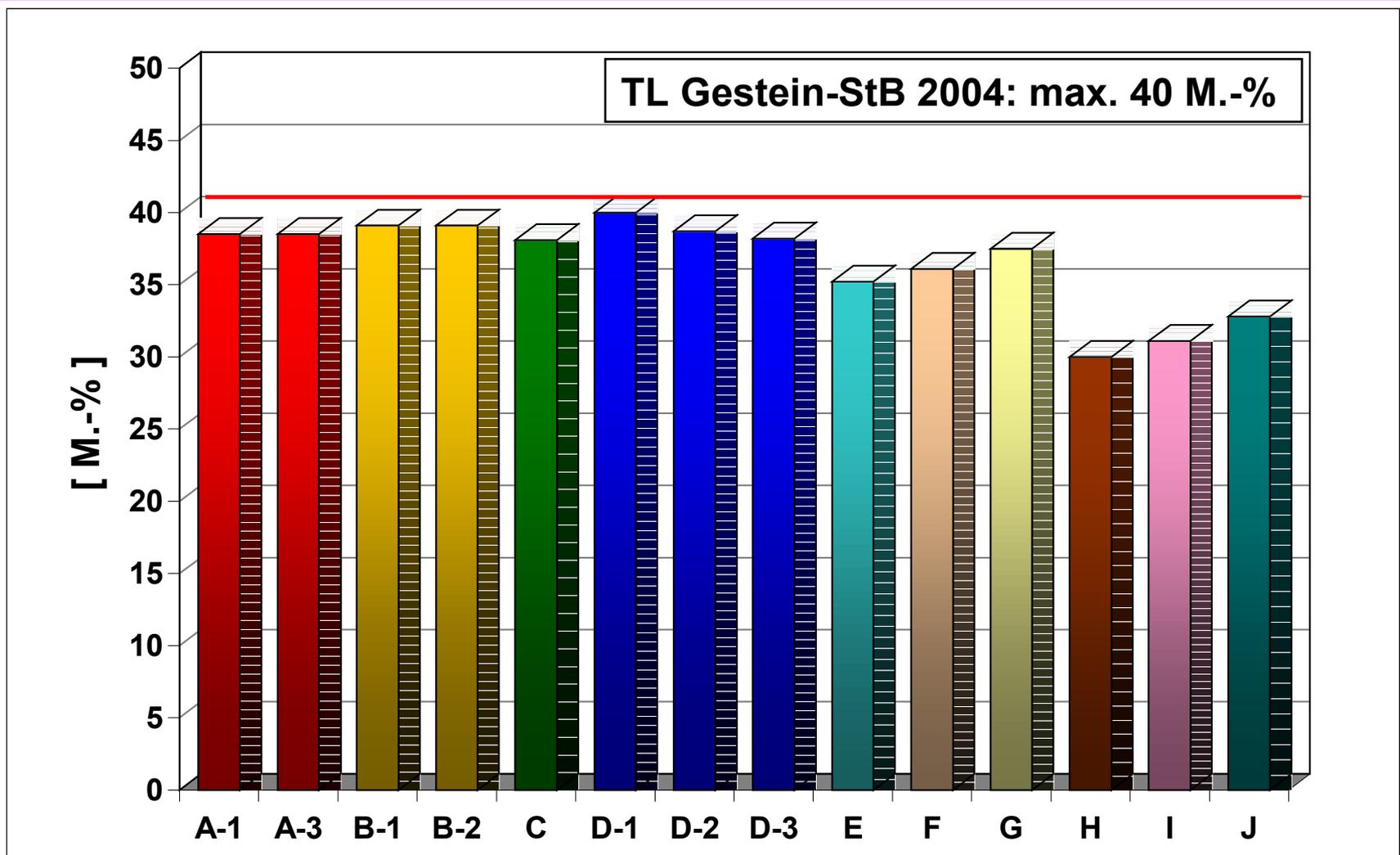
## Bautechnik: Stoffliche Zusammensetzung

TL Gestein-StB 2004:

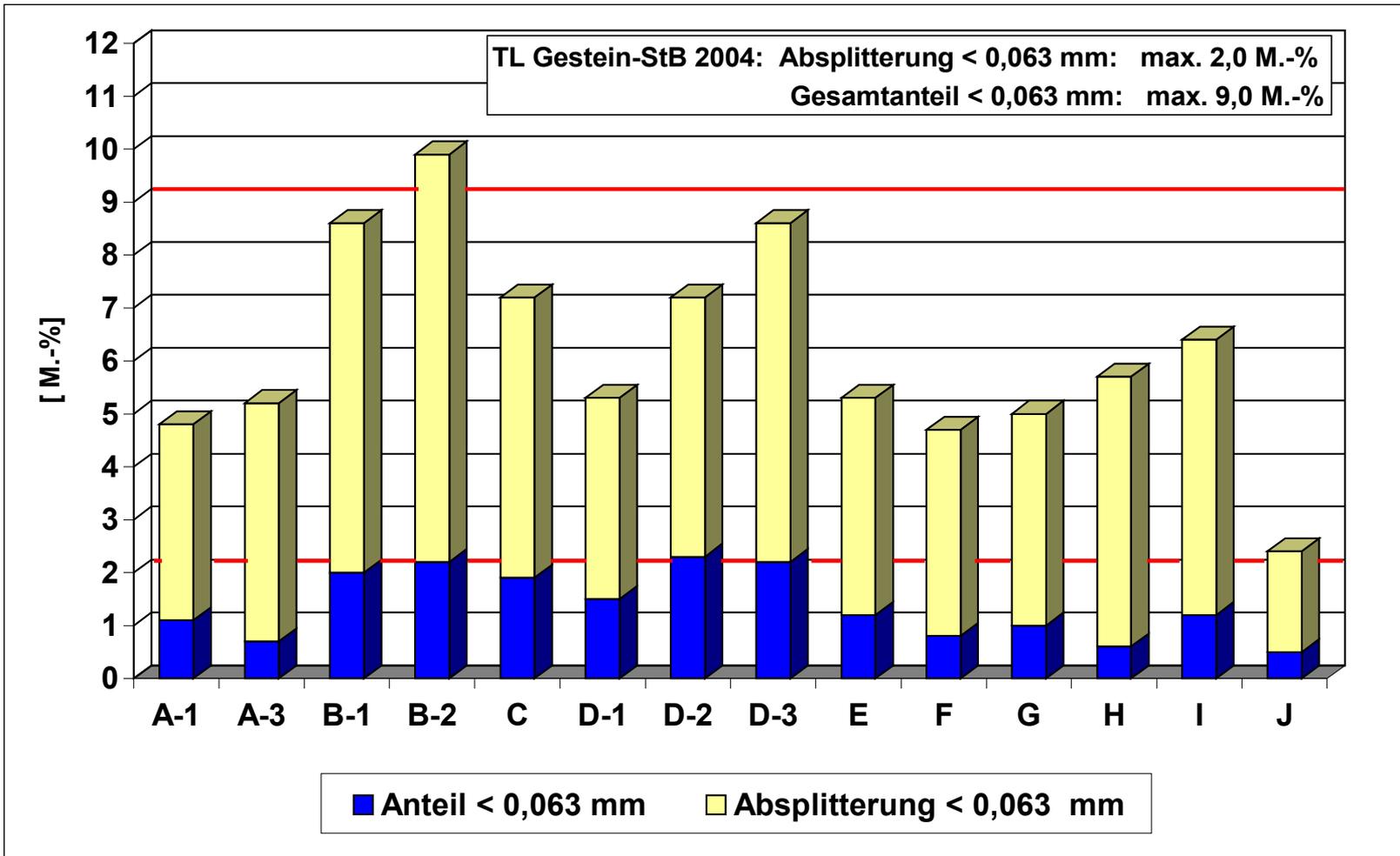
- Unverbranntes  $\leq 0,5$  M.-%
- Metallgehalt  $\leq 5,0$  M.-%



## Bautechnik: Widerstand gegen Schlag



## Bautechnik: Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel



## Zwischenbilanz

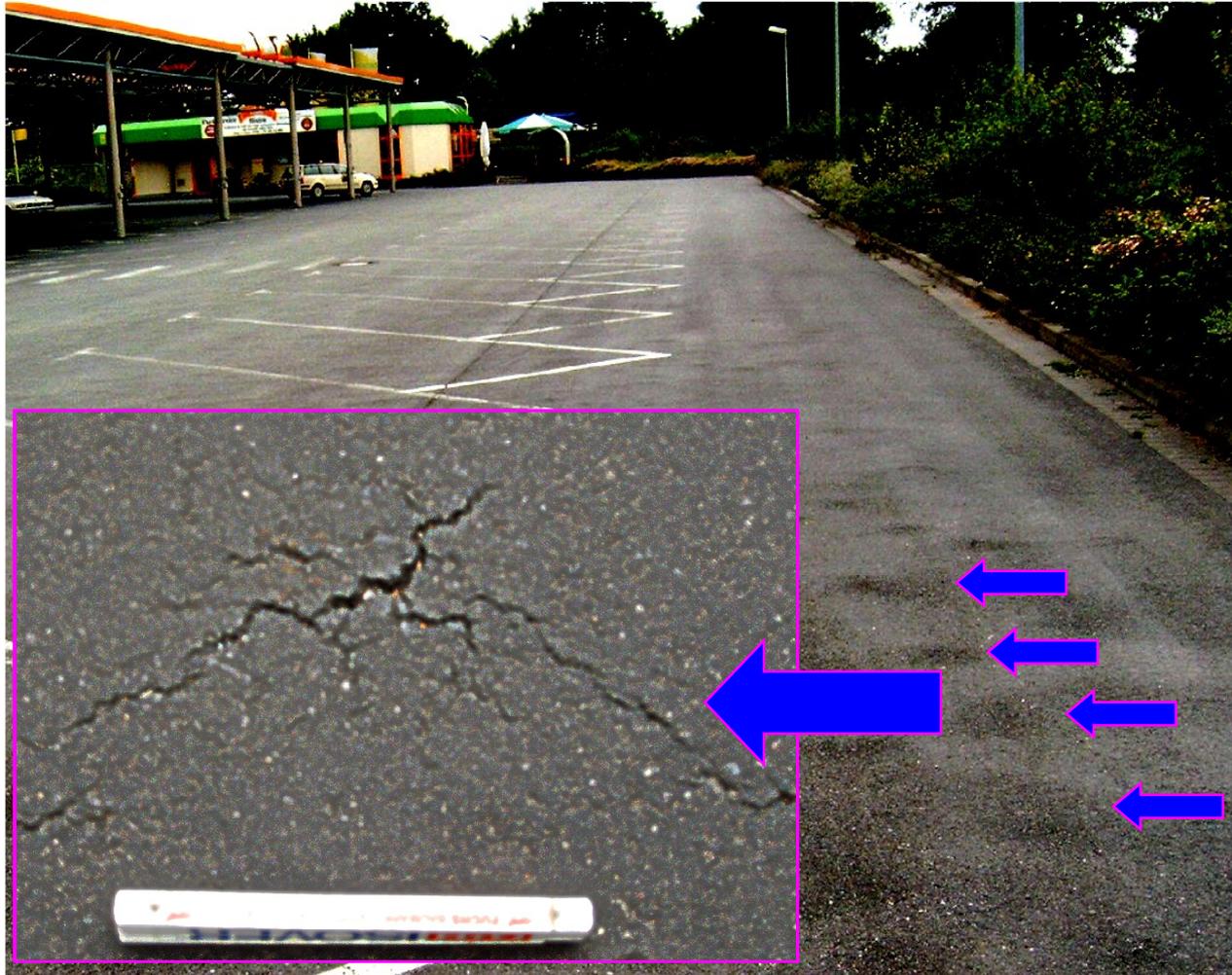
- **MV-Schlacken erfüllen nach einer Ablagerungszeit von drei Monaten die Zuordnungs- und Grenzwerte**
  - der LAGA und
  - TL Gestein-StB 2004 für eine HMVA 2
- ⇒ **Einsatz als Baustoff im Bereich des Straßenbaus möglich**

**Raumbeständigkeit ? → Bestimmt den Einsatzzeitpunkt**

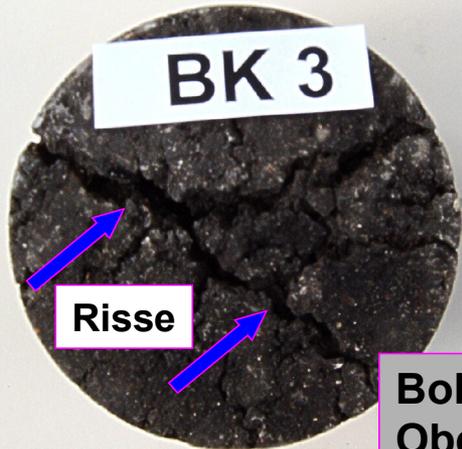
- **Merkmale über die Verwendung von Hausmüllverbrennungsasche im Straßenbau M HMVA 05**
  - **Hebungsversuch: Prüfdauer 30 bis 120 Tage**
  - **Mineralogisches Verfahren: Prüfdauer 7 Tage**

## Raumbeständigkeit: Schadensfall

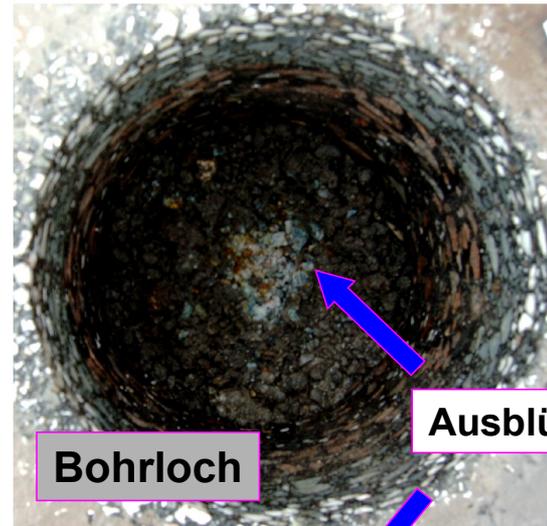
Schadensfall:  
Aufwölbungen  
und Risse im  
Asphalt-  
Oberbau



## Raumbeständigkeit: Schadensfall - Bohrkernentnahme



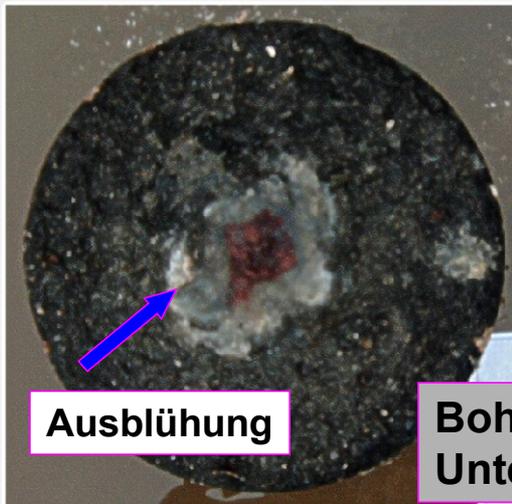
Bohrkern:  
Oberseite



Ausblühung

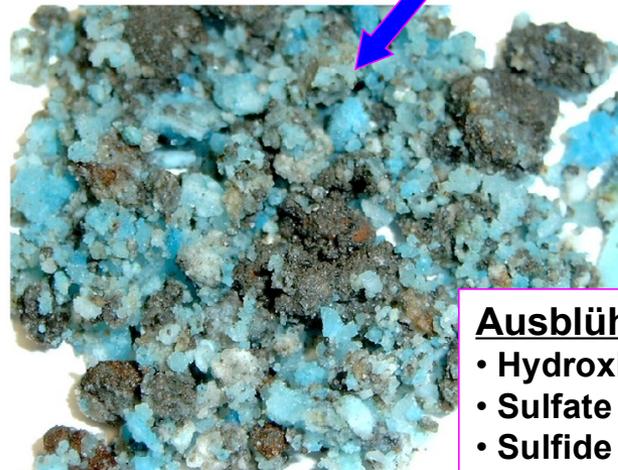
Bohrloch

**Schadensfall:**  
**Bohrkern-**  
**entnahme**



Ausblühung

Bohrkern:  
Unterseite



**Ausblühung**

- Hydroxide
- Sulfate
- Sulfide

## Forschungsprojekte und Gutachten

Forschungszentrum Karlsruhe  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

**ITC/TAB**



UNIVERSITÄT ISE  
KARLSRUHE (TH)



Institut für angewandte  
Bau- und Reststoff-Forschung

### Projekt Wasser/Abfall/Boden (BW)

- Langzeitverhalten und bautechnische Eignung von Müllverbrennungsreststoffen (1994 - 1996)
- Qualitätsverbesserungen von HMV-Schlacken (1997 - 1999)

### BMB+F (2001 - 2004)

- Einfluss geänderter Stoffströme in der Abfallwirtschaft auf die zukünftige Qualität und Verwertungsmöglichkeiten von Müllverbrennungsschlacken

### Deutsche Bundesstiftung Umwelt (2003 - 2005)

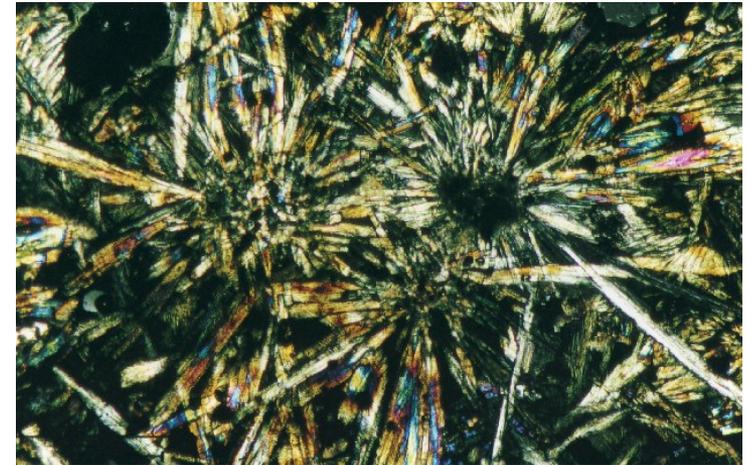
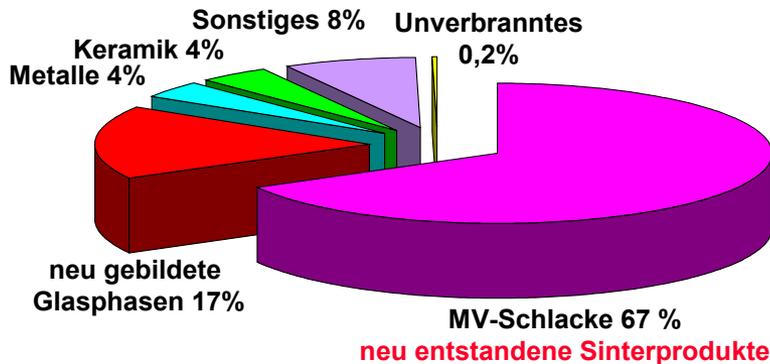
- Einsatz von Sekundärrohstoffen für den Bau von Flussdeichen

### Hausmüllverbrennungsanlagen / Aufbereiter (2000 - 2007)

- Untersuchungen zum Ablagerungsverhalten und zur Raumbeständigkeit von HMV-Schlacken
- Schadensfalluntersuchungen

## Mineralogie: Grundlagen

### Stoffliche Zusammensetzung von HMV-Schlacken



### Mineralphasen

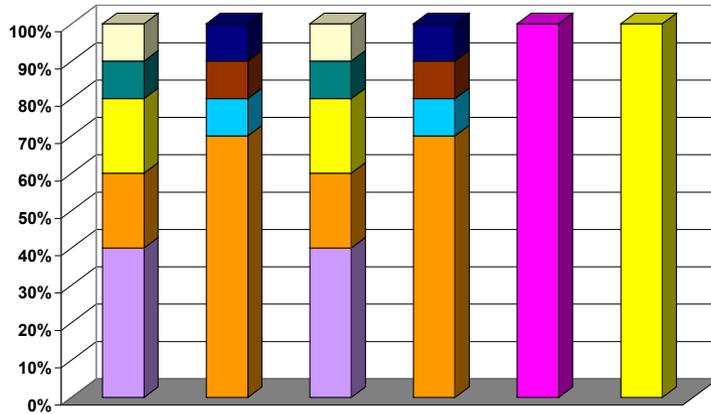
Physikalische Eigenschaften

Chemische Eigenschaften

- Umweltverträglichkeit
- Bautechnik
- Alterationsverhalten
- Raumbeständigkeit

# Mineralogie: Grundlagen

## Natürliche Gesteine



Granit    Quarzporphyr Basalt    Diorit    Kalkstein    Quarzit

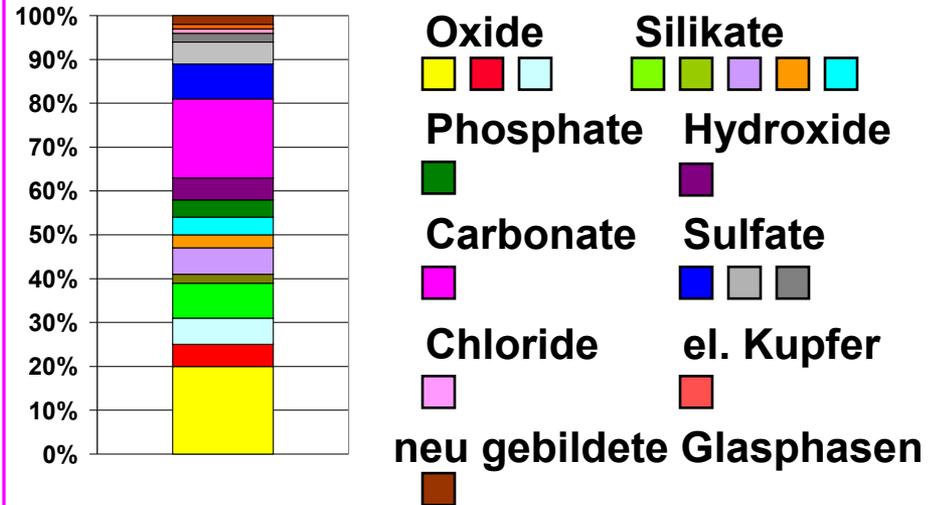
**Silikate**                      **Oxide**                      **Carbonate**

- stabile Mineralphasen



- gute mechanische Eigenschaften
- chemische Stabilität
- **Volumenkonstanz**

## MV-Rohschlacke



- stabile Mineralphasen



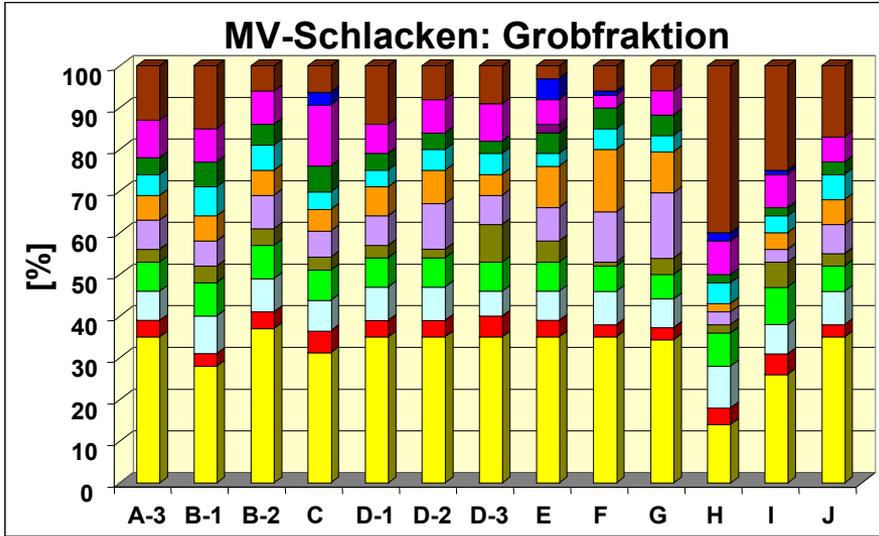
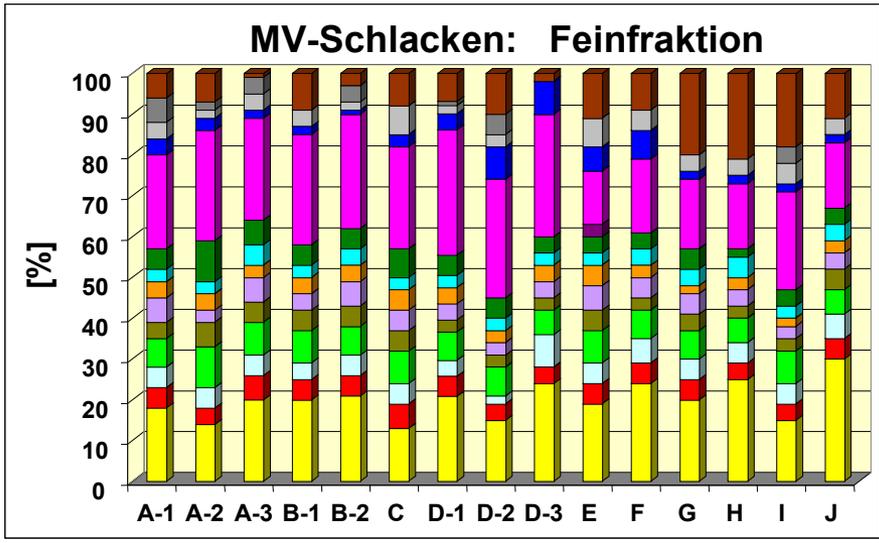
**Volumenkonstanz**

- reaktionsfähige Phasen:  
Sulfate/Hydroxide/Metalle



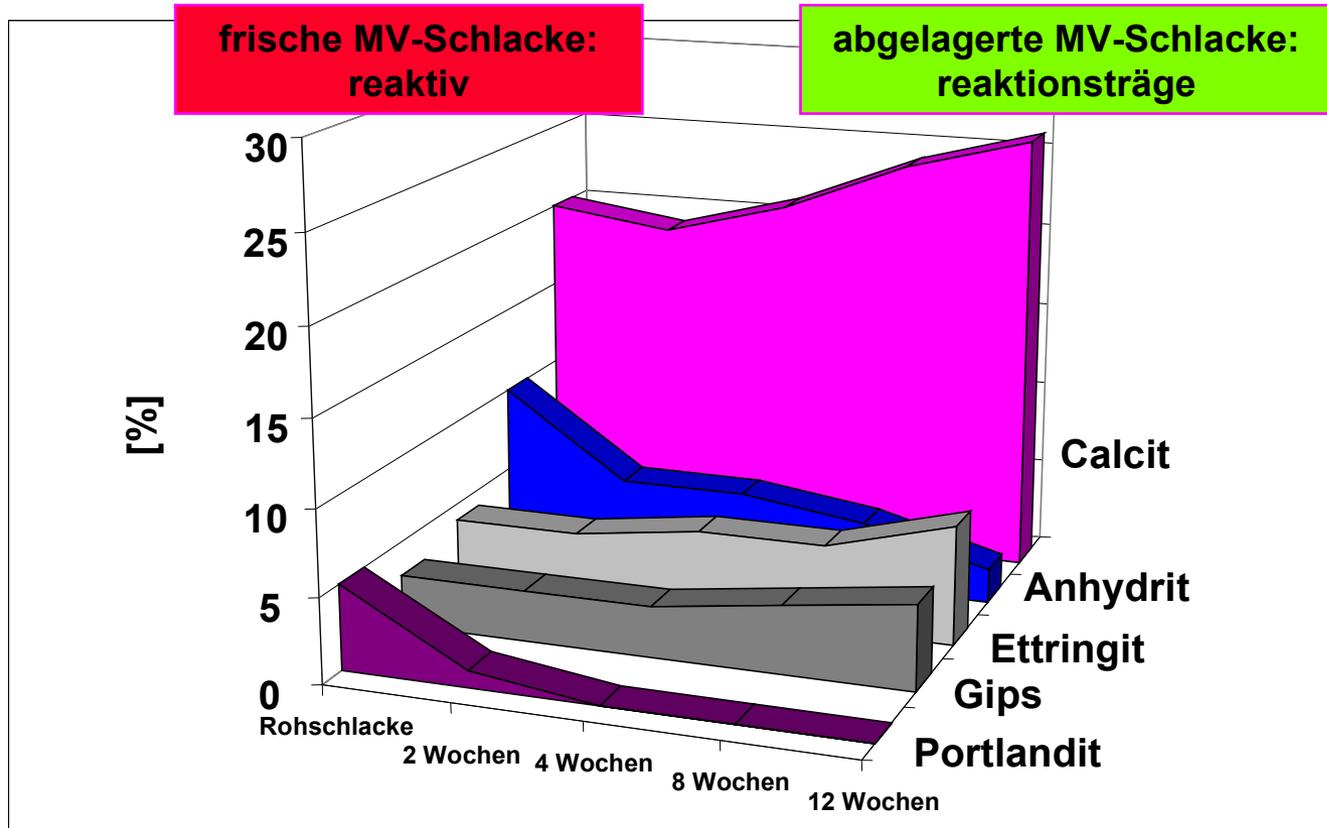
**Volumenkonstanz  
nicht gewährleistet**

# Korngrößenabhängigkeit von HMV-Schlacken



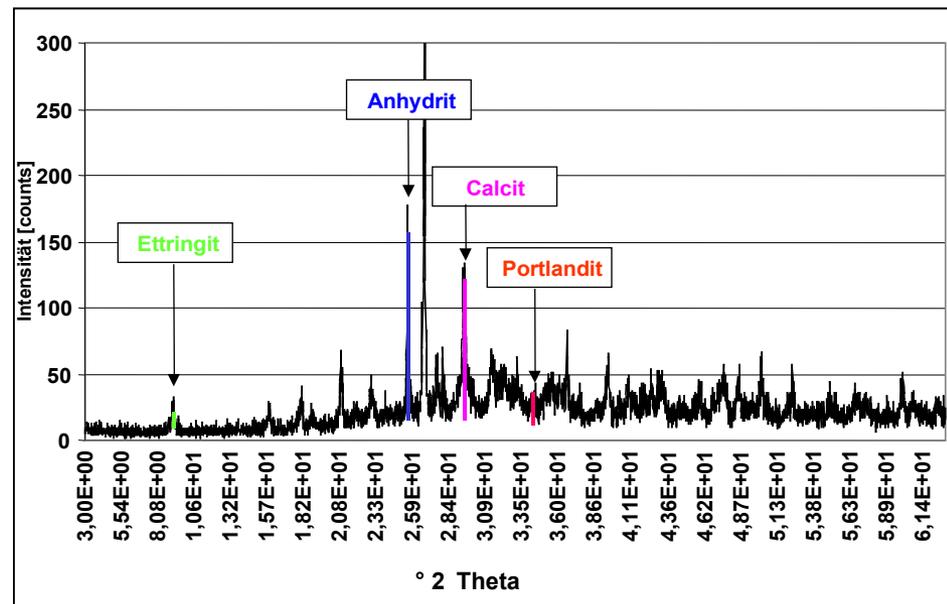
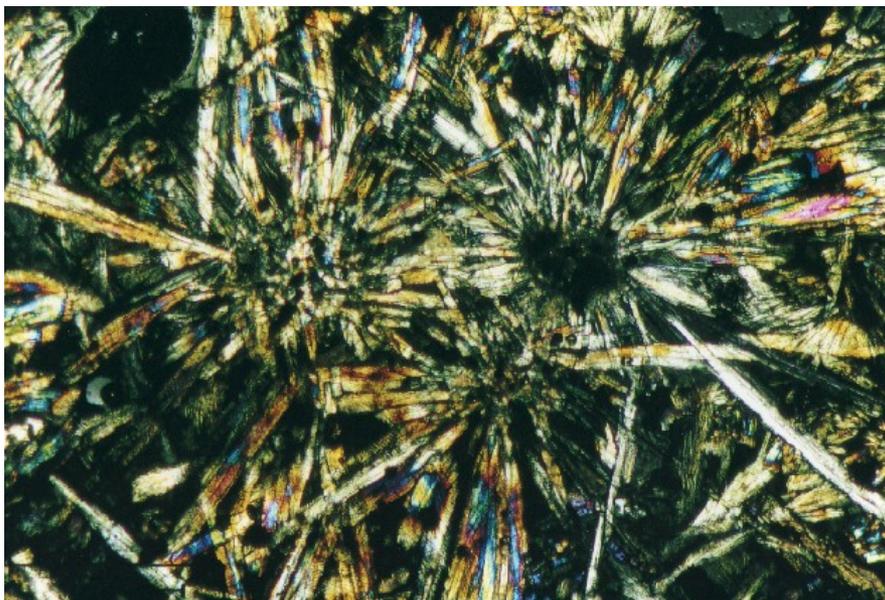
- Oxide:**
  - Quarz  $\text{SiO}_2$
  - Hämatit  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$
  - Magnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$
  
- Silikate:**
  - Gehlenit  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$
  - Åkermanit  $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$
  - Kalifeldspat  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$
  - Plagioklas  $(\text{Na}, \text{Ca})[(\text{Si}, \text{Al})\text{AlSi}_2\text{O}_8]$
  - Diopsid  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$
  
- Phosphate:**
  - Apatit  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$
  
- Carbonate:**
  - Calcit  $\text{CaCO}_3$
  
- Sulfate:**
  - Anhydrit  $\text{CaSO}_4$
  - Ettringit  $\text{Ca}_6\text{Al}_2[(\text{OH})_4\text{ISO}_4]_3 \times 24\text{H}_2\text{O}$
  - Gips  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$
  
- neu gebildete Glasphasen**

# Raumbeständigkeit: Mineralreaktionen während der Ablagerung



- Calcit  $\text{CaCO}_3$
- Anhydrit  $\text{CaSO}_4$
- Ettringit  $\text{Ca}_6\text{Al}_2[(\text{OH})_4\text{SO}_4]_3 \times 24\text{H}_2\text{O}$
- Gips  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$
- Portlandit  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

# Bewertung der Raumbeständigkeit von HMV-Schlacken auf mineralogischer Basis (Röntgendiffraktometerverfahren)

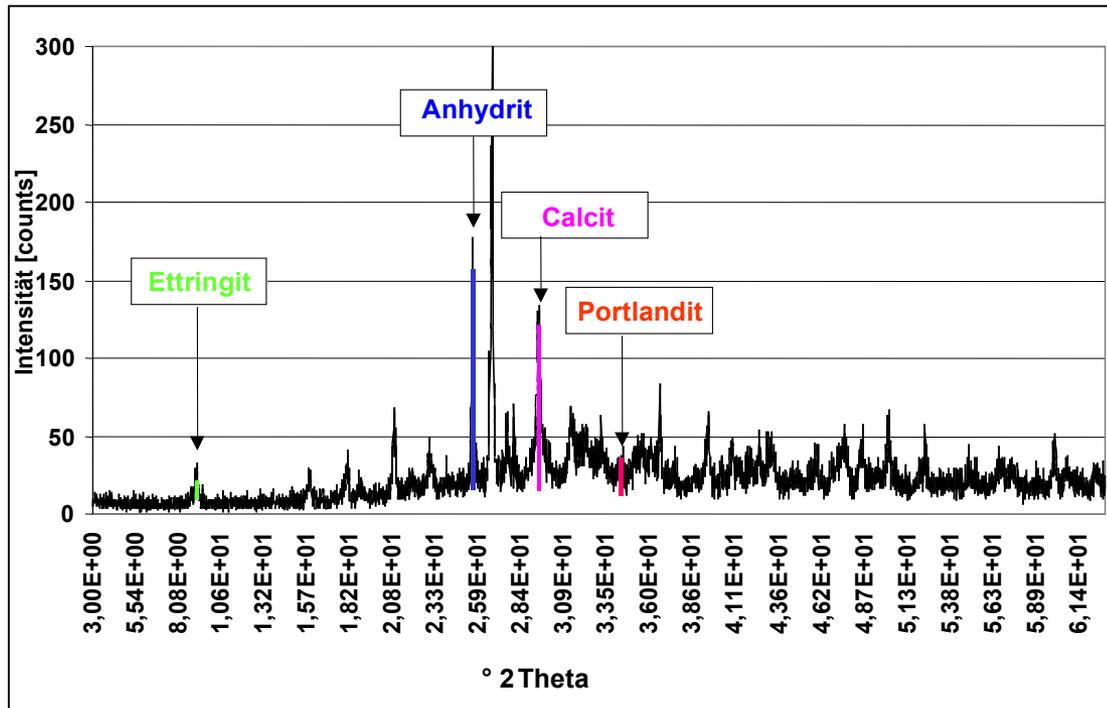


## Ziel des Prüfverfahrens

- Mit Hilfe des Prüfverfahrens wird eine kurzfristige Bewertung der Raumbeständigkeit von HMV-Schlacken innerhalb weniger Tage auf mineralogischer Basis ermöglicht.
- Die Reaktionsfähigkeit (Reifegrad) der HMV-Schlacken wird anhand charakteristischer Mineralphasen bestimmt, die mit Mineralreaktionen verbunden sind, die Volumenveränderungen nach sich ziehen können.



## Kurzbeschreibung



### Indexminerale:

Anhydrit ( $\text{CaSO}_4$ )

Calcit ( $\text{CaCO}_3$ )

### ergänzende Minerale:

Portlandit ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )

Ettringit

( $\text{Ca}_6\text{Al}_2[(\text{OH})_4\text{SO}_4]_3 \times 24\text{H}_2\text{O}$ )

Gips ( $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ )

### Basis des Prüfverfahrens:

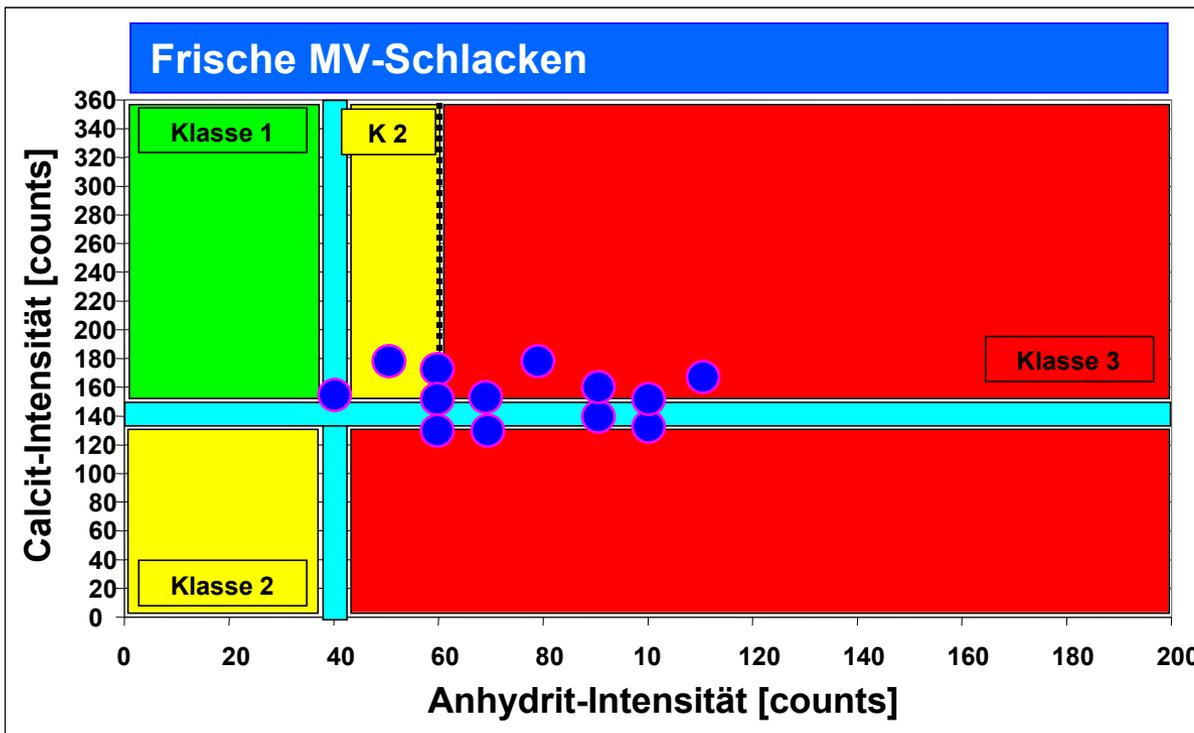
Bestimmung charakteristischer Röntgenreflexe von Mineralphasen in Röntgen-diffraktometeraufnahmen, die den Reifegrad einer HMV-Schlacke bestimmen

### Bewertung der Raumbeständigkeit:

Bestimmung der Intensitäten der Röntgenreflexe der Indexminerale

## Auswertung

### Mineralveränderungen während der Alteration von MV-Schlacken



**Klasse 1**  
Einsatz ohne  
Einschränkungen

**Klasse 2**  
Einsatz unter definierten  
Randbedingungen

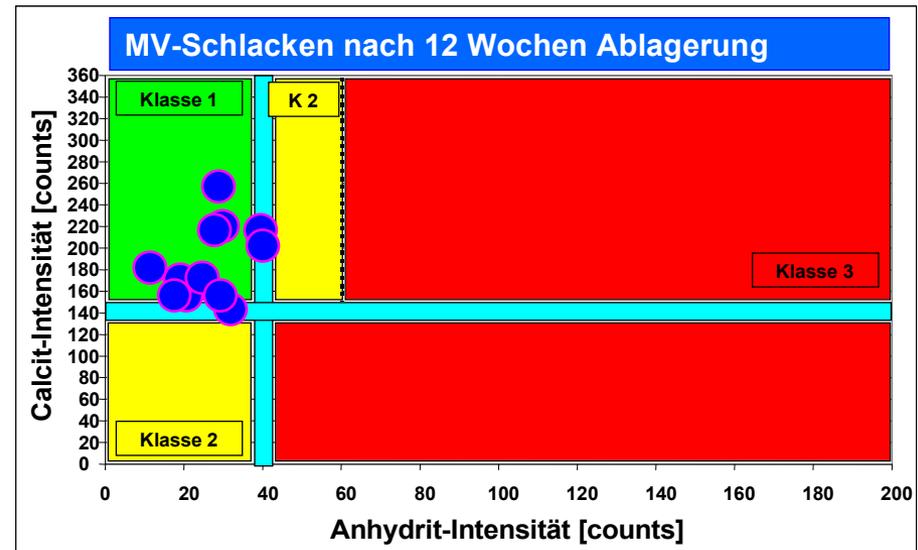
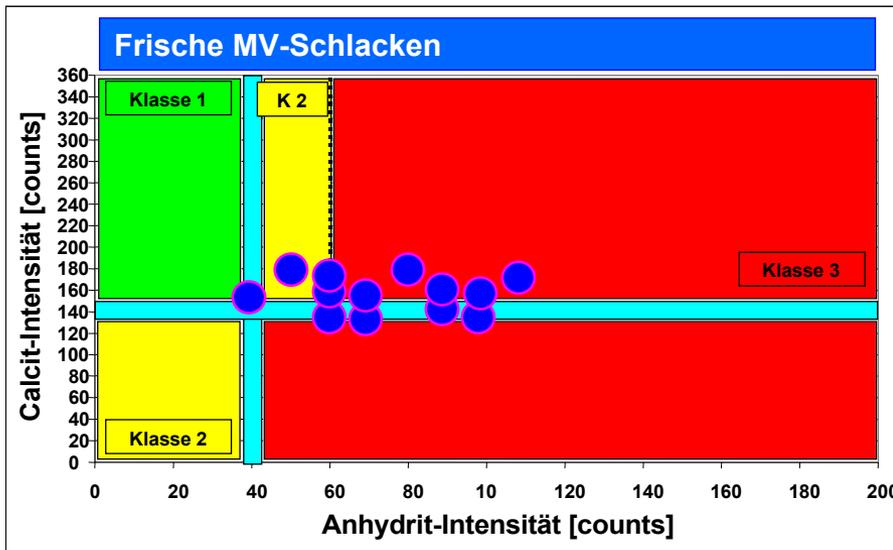
**Klasse 3**  
Einsatz nicht möglich

### Auswertung:

- Bestimmung der Intensitäten (Gehalte) von Calcit ( $\text{CaCO}_3$ ) und Anhydrit ( $\text{CaSO}_4$ )
- Eintrag in das Klassifikationsschemata
- Bewertung der Reaktivität (Raumbeständigkeit) der MV-Schlacken

# Anwendungsbeispiele

## Entwicklung des Alterationsverhaltens von 10 unterschiedlichen HMV-Schlacken aus einer Anlage



**Klasse 1**  
Einsatz ohne  
Einschränkungen

**Klasse 2**  
Einsatz unter definierten  
Randbedingungen

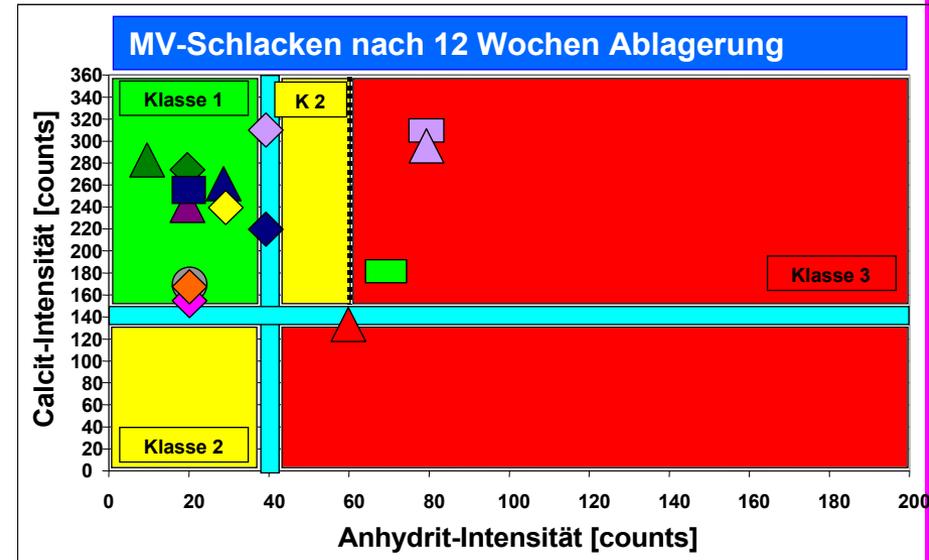
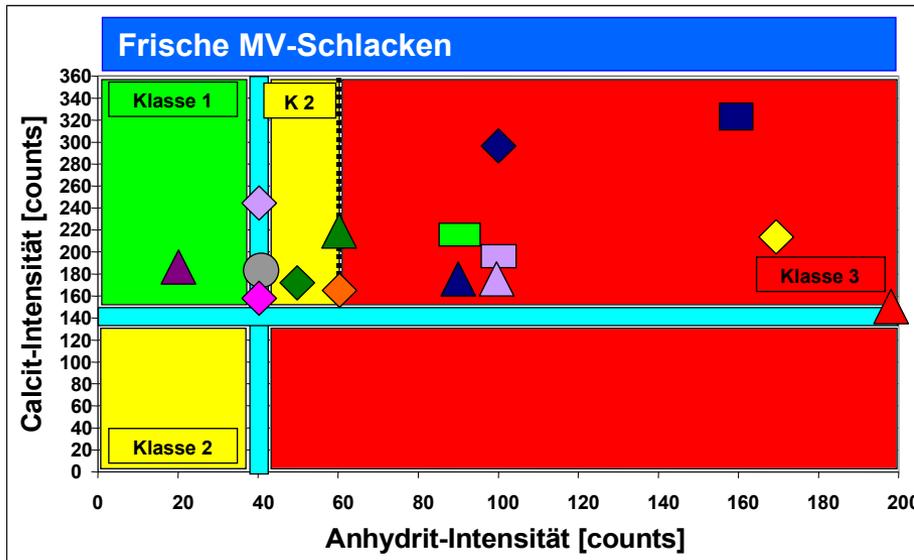
**Klasse 3**  
Einsatz nicht möglich

➔ reaktive frisch aufbereitete HMV-Schlacken: **nicht raumbeständig**

➔ reaktionsträge HMV-Schlacke nach 3 Monaten Ablagerungszeit: **raumbeständig**

# Anwendungsbeispiele

## Entwicklung des Alterationsverhaltens von HMV-Schlacken aus 10 Anlagen unterschiedlicher Verfahrenstechnik



**Klasse 1**  
Einsatz ohne  
Einschränkungen

**Klasse 2**  
Einsatz unter definierten  
Randbedingungen

**Klasse 3**  
Einsatz nicht  
möglich

- A-1
- A-2
- A-3
- B-1
- B-2
- C
- D-1
- D-2
- D-3
- E
- F
- G
- H
- I
- J

## **Zusammenfassung**

- **MV-Schlacken erfüllen nach einer Ablagerungszeit von drei Monaten die bautechnischen und umweltrelevanten Zuordnungs- und Grenzwerte**
  - der LAGA und
  - TL Gestein-StB 2004 für eine HMVA 2

⇒ Einsatz als Baustoff im Bereich des Straßenbaus möglich
- **Die Ergebnisse des Availability- und des Kolonnen-Tests zeigen nur eine geringfügige Freisetzung an Schwermetallen, sodass von einer Langzeitstabilität und auch von einer Elutionsstabilität über kurze bis mittelfristige Zeiträume ausgegangen werden kann.**

## Zusammenfassung

- **Das Alterationsverhalten und die Raumbeständigkeit von MV-Schlacken werden im wesentlichen von Carbonatisierungs- und Sulfatreaktionen gesteuert und weisen für verschiedene HMV-Schlacken große Unterschiede auf.**
- **Entwicklung eines Prüfverfahrens zur kurzfristigen Bewertung der Raumbeständigkeit von HMV-Schlacken auf mineralogischer Basis, das im Rahmen der Gütesicherung von HMV-Schlacken, zusammen mit einem physikalischen Prüfverfahren, anzuwenden ist.**

⇒ **Technisches Regelwerk: M HMVA-StB 05**