

Lösliche Salze in Reparturmörteln



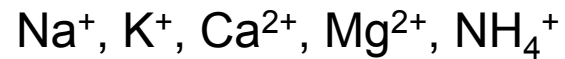
Salze im Kulturgut: „Aktuelles aus Forschung und Praxis zum Thema Salz“

1. April 2016, *Hochschule für Bildende Künste, Dresden*

Bauschädliche Salze

Meist Nitrate, Chloride und Sulfate der Alkali- und Erdalkalimetalle

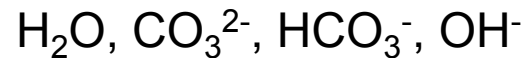
Kationen:



Anionen:



Sonstige:



Reparaturmörtel:

Kationen: Na^+ , K^+

Anionen: SO_4^{2-}



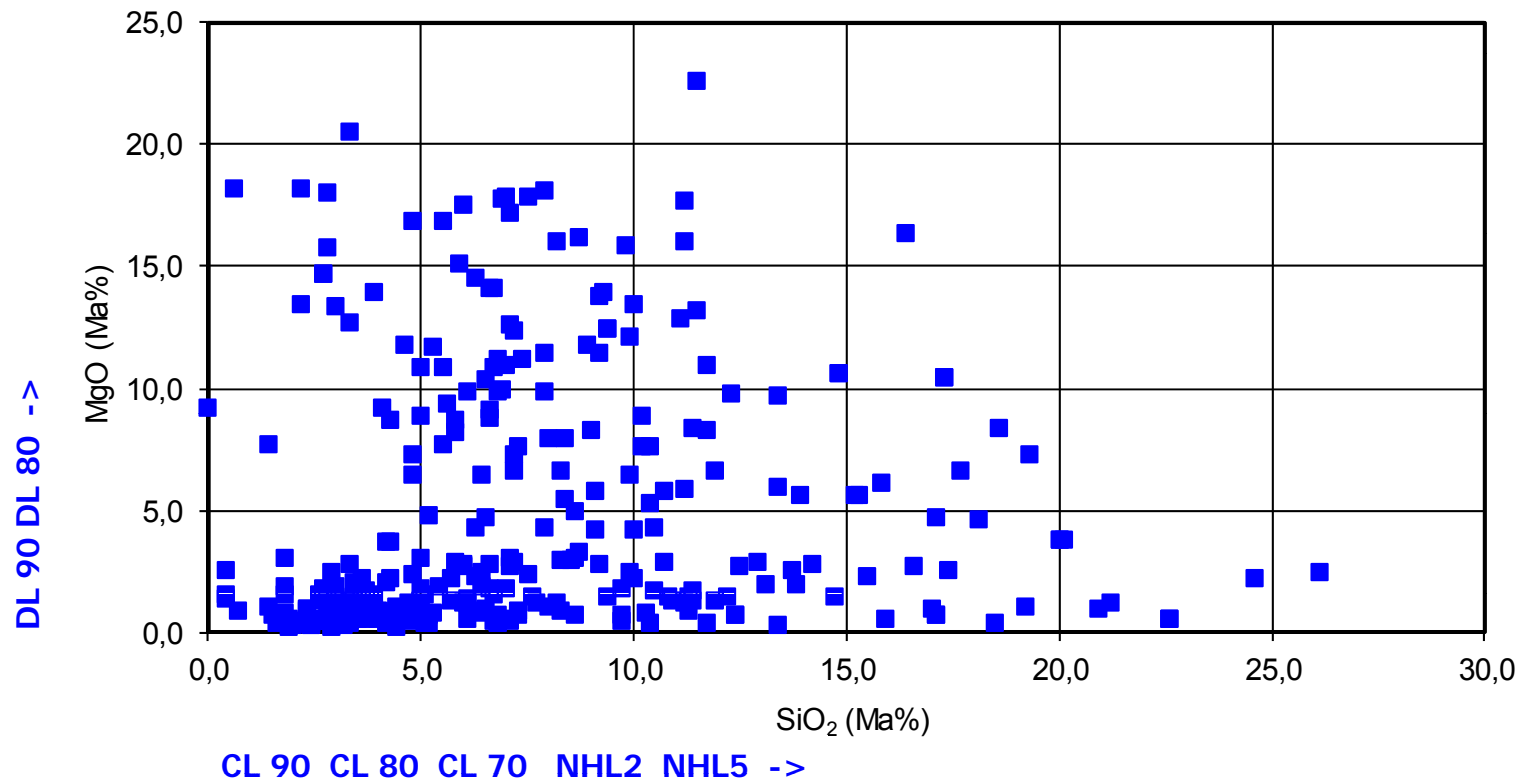
Name	Chem. Formel	Häufigkeit (%)	Gleich- gew.- feuchte (%rL)	Lös- lich- keit (g/l)
Gips	$\text{CaSO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$	49	99	2,4
Mirabilit Thenardit	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10 \text{H}_2\text{O}$ Na_2SO_4	40	95 75	900 162
Epsomit Hexahydrit	$\text{MgSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$ $\text{MgSO}_4 \times 6 \text{H}_2\text{O}$	21	90 43	710 660
Nitrokalit	KNO_3	14	95	315
Aphthitalit (Glaserit)	$\text{K}_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$	9	k.A.	k.A.
Trona	$\text{Na}_3\text{H}(\text{CO}_3)_2 \times 2 \text{H}_2\text{O}$	8	k.A.	130
Halit	NaCl	5	75	358
Nitronatrit	NaNO_3	5	75	880

Historische Bauwerke

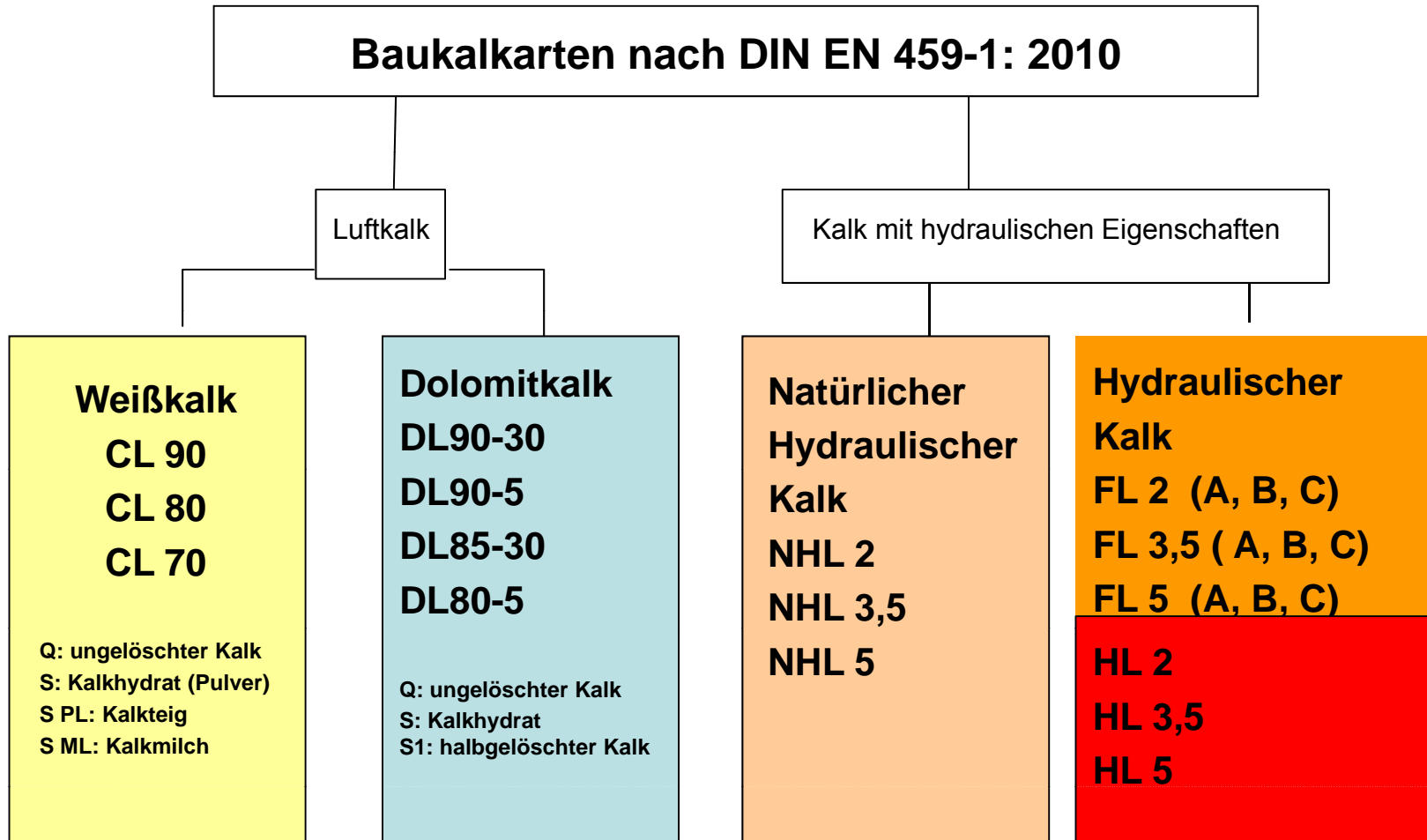
Historische Baustoffe (meist kalkreiche Produkte)

Zusammensetzung historischer Kalkbindemittel

Historische Mörtel
aus Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland und Thüringen



Baukalkarten nach DIN EN 459-1: 2010



Carbonatische Erhärtung

Carbonatische und hydraulische Erhärtung

Kalkarten

Weißkalk (CL)

90/80/70

Q: ungelöschter Kalk

Kalkhydrat:

- S: Pulver
- S PL: Teig
- S ML: Suspension oder Kalkmilch



Dolomitkalk (DL)

90-30/90-5/85-30/80-5

- Q: ungelöschter Kalk
- S: Kalkhydrat
- S1: halbgelöschter Dolomitkalk



Nassgelöschter Kalk

Sumpfkalkkalkputz mit frescalem Kalkanstrich, Lambrecht (Pfalz)



Trockengelöschter Kalk



Abbildung 9.10.11.12

13
Trockenlöschverfahren für die Neumühle in Langenzenn (Franken)





Kalk

Zemente

Puzzolane

Gesteinsmehle



Hydraulischer Kalk (HL)
Formulierter Kalk (FL)

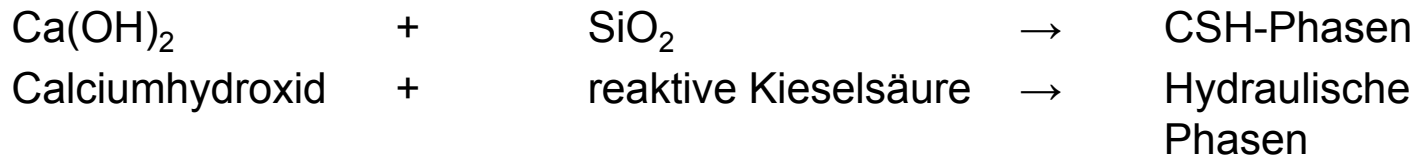
Mischen



DIN EN 459: 2015-07

Bezeichnung	Kurzzeichen	Verfügbare Kalk als Ca(OH)_2	Druckfestigkeit [MPa] nach 28 Tagen
Natürlich hydraulischer Kalk 2	NHL 2	≥ 35	≥ 2 bis ≤ 7
Natürlich hydraulischer Kalk 3,5	NHL 3,5	≥ 25	$\geq 3,5$ bis ≤ 10
Natürlich hydraulischer Kalk 5	NHL 5	≥ 15	≥ 5 bis ≤ 15
Formulierter Kalk 2	FL 2		≥ 2 bis ≤ 7
Formulierter Kalk 3,5	FL 3,5		$\geq 3,5$ bis ≤ 10
Formulierter Kalk 5	FL 5		≥ 5 bis ≤ 15
FL A		≥ 40 und < 80	
FL B		≥ 25 und < 50	
FL C		≥ 15 und < 40	
Hydraulischer Kalk 2	HL 2	≥ 10	≥ 2 bis ≤ 7
Hydraulischer Kalk 3,5	HL 3,5	≥ 8	$\geq 3,5$ bis ≤ 10
Hydraulischer Kalk 5	HL 5	≥ 4	≥ 5 bis ≤ 15

Puzzolanische Reaktion beim Anmachen mit Wasser:



Puzzolane:

vulkanische Erden (Trass),
Ziegelmehl, Flugasche,
Molererde, Silikastaub,
Getempertes Gesteismehl,
Zuckerrohrasche, Metakaolinit

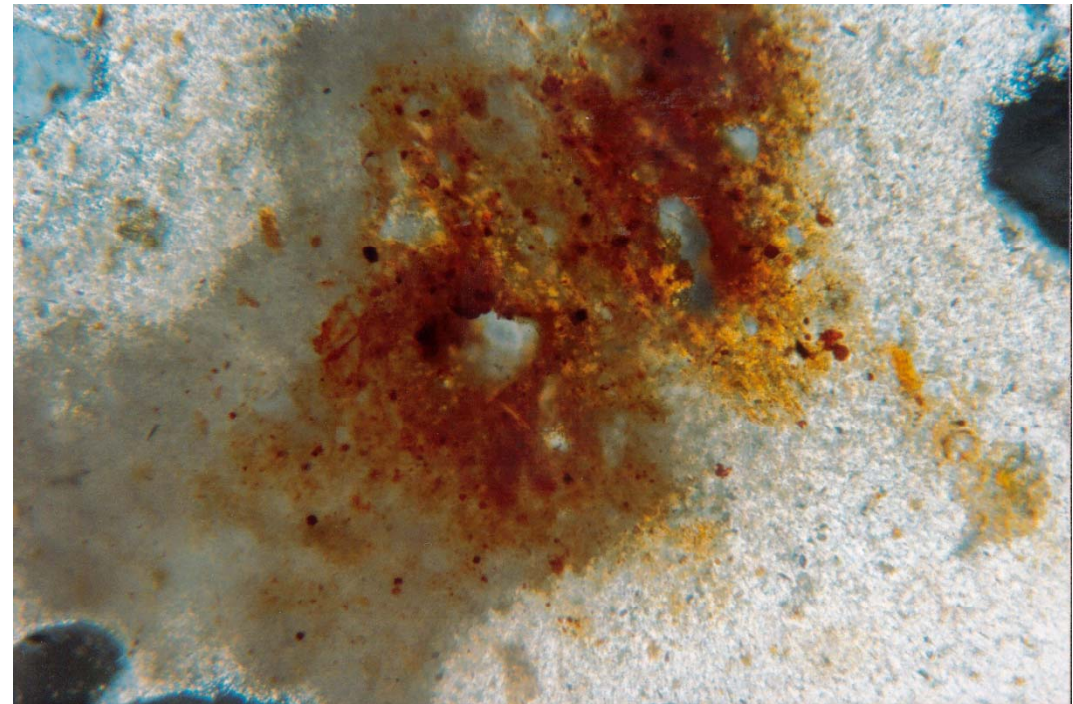


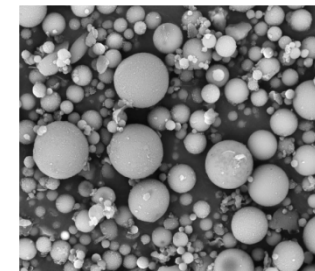
Foto: Karin Kraus, IFS Mainz



Trass

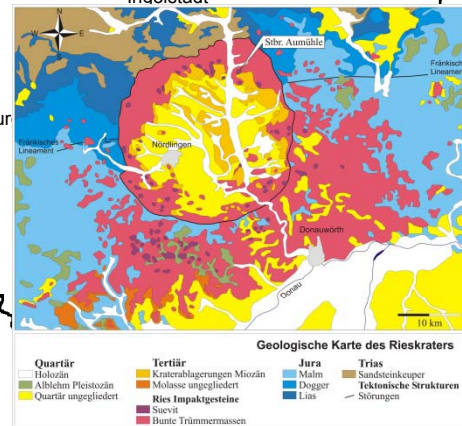
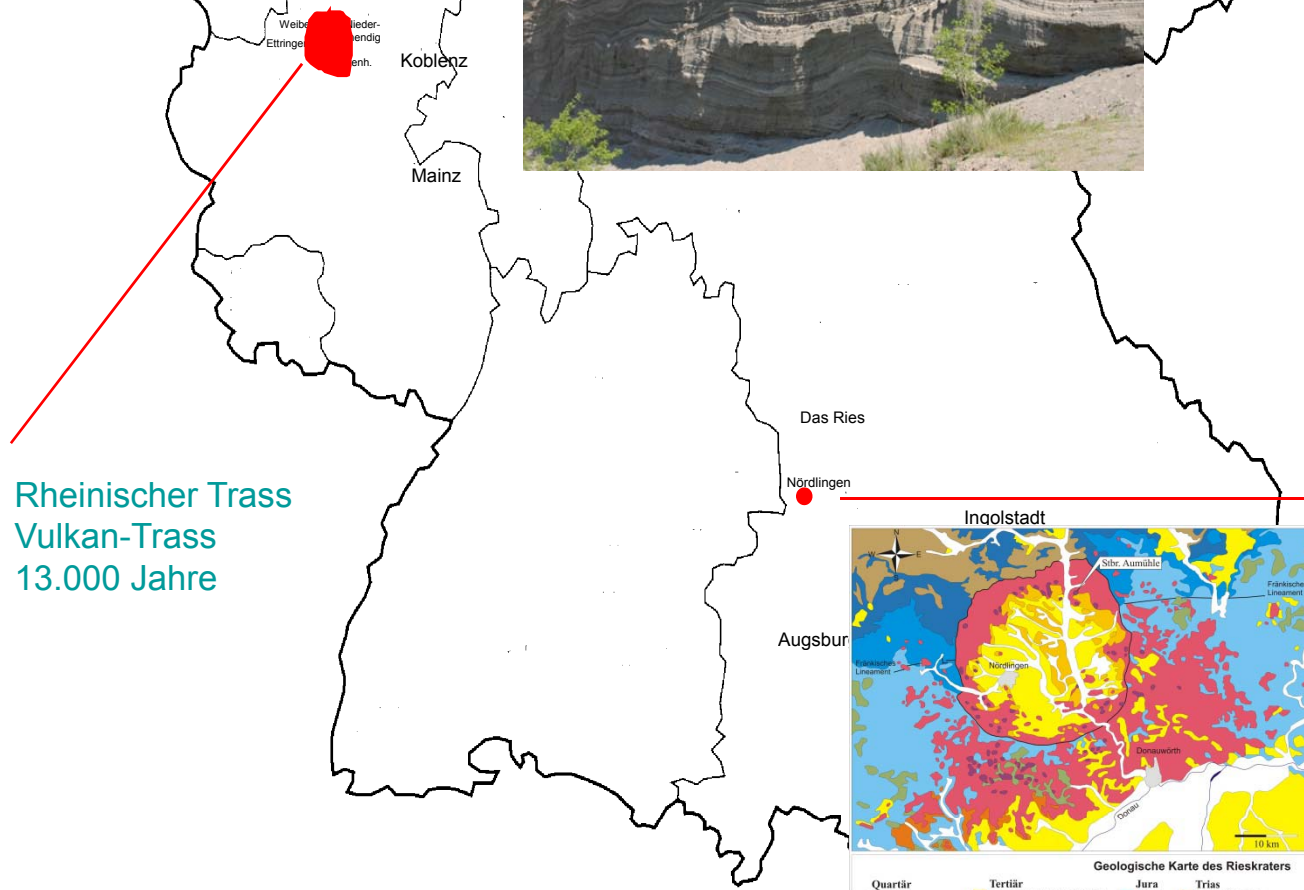
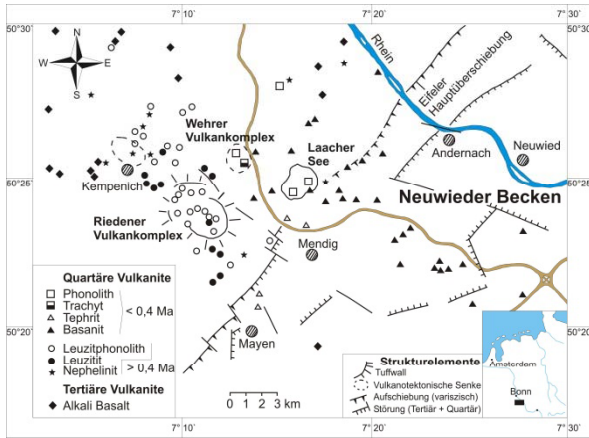


Metapor



Flugasche

TRASS – Vorkommen in Deutschland



Chemische Zusammensetzung verschiedener Trassproben aus dem Laacher See Gebiet und dem Nördlinger Ries.

Trassart	Rheinischer Trass					Bayerischer Trass = Suevit			
	LIEBIG (1997)	LIEBIG (1997)	SCHWIEDE & LUDWIG (1965)	RUCKEN STEINER et al. (1972)	Diese Arbeit, Kap. 4	LIEBIG (1997)	SCHWIEDE & LUDWIG (1965)	RUCKEN STEINER et al. (1972)	Diese Arbeit, Kap. 4
Bezeichnung ⁺	RhT 1	RhT 2	RhT 3	-	Thürer Wald	S 1	S 2	-	Au- mühle
Glühverlust	k. A.	k. A.	6,05	5,79	5,3	k. A.	3,31	4,08	9,57
SiO ₂	54,09	54,49	59,53	55,69	54,41	64,36	65,97	63,92	55,03
Al ₂ O ₃	18,14	16,41	18,92	18,49	16,81	14,65	16,59	15,11	13,17
Fe ₂ O ₃	4,98	4,97	1,80	5,00	6,03	4,23	3,07	5,01	4,46
Mg O	1,28	1,60	1,61	1,82	2,28	1,84	2,85	3,16	0,89
Ca O	2,59	4,21	3,50	4,33	4,89	2,14	3,97	3,82	11,26
Na ₂ O	3,65	0,97	4,71	1,59	3,01	1,92	1,74	1,62	1,90
K ₂ O	4,38	5,06	2,80	5,77	5,04	2,15	1,55	2,50	2,50
H ₂ O	8,23	11,50	k. A.	k. A.	k. A.	6,85	k. A.	k. A.	k. A.
CO ₂	1,16	0,85	k. A.	k. A.	k. A.	0,70	k. A.	k. A.	k. A.
TiO ₂	k. A.	k. A.	0,68	1,29	0,96	k. A.	0,79	0,75	0,65
SO ₃	k. A.	k. A.	Spuren	0,05	0,04	k. A.	Spuren	0,17	0,05
Σ	98,50	100,1	99,60	99,82	98,77	98,84	99,84	100,14	99,7

Zementarten und Zusammensetzung

(Quelle: DIN EN 197-1:2000)

Hauptzementarten	Benennung	Kurzbezeichnung	Hauptbestandteile ¹⁾										Nebenbestandteile ^{1/4)}			
			Portlandzementklinker	Hütten sand	Silicastaub	Puzzolane natürlich	Puzzolane natürlich getempert	Flugasche kieselsäurereich	Flugasche kalkreich	Gebraunter Schlier	Kalkstein					
											K	S		D ²⁾	P	Q
CEM I	Portlandzement	CEM I	95-100													0-5
CEM II	Portlandhüttenzement	CEM II/A-S	80-94	6-20												0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35												0-5
	Portlandsilicastaubzement	CEM II/A-D	90-94		6-10											0-5
		CEM II/A-P	80-94			6-20										0-5
	Portlandpuzzolan-zement	CEM II/B-P	65-79			21-35										0-5
		CEM II/A-Q	80-94				6-20									0-5
		CEM II/B-Q	65-79				21-35									0-5
		Portlandflugasche-zement	CEM II/A-V	80-94					6-20							
	CEM II/B-V		65-79					21-35								0-5
	CEM II/A-W		80-94						6-20							0-5
	CEM II/B-W		65-79						21-35							0-5
	Portland-schieferzement	CEM II/A-T	80-94							6-20						0-5
		CEM II/B-T	65-79							21-35						0-5
	Portlandkalkstein-zement	CEM II/A-L	80-94								6-20					0-5
		CEM II/B-L	65-79								21-35					0-5
		CEM II/A-LL	80-94									6-20				0-5
CEM II/B-LL		65-79									21-35				0-5	
Portlandkompo-sitzement ³⁾	CEM II/A-M	80-94						6-20							0-5	
	CEM II/B-M	65-79						21-35							0-5	
CEM III	Hochofen-zement	CEM III/A	35-64	36-65											0-5	
		CEM III/B	20-34	66-80											0-5	
		CEM III/C	5-19	81-95											0-5	
CEM IV	Puzzolan-zement ³⁾	CEM IV/A	65-89				11-35								0-5	
		CEM IV/B	45-64				36-55								0-5	
CEM V	Komposit-zement ³⁾	CEM V/A	40-64	18-30			18-30								0-5	
		CEM V/B	20-38	31-50			31-50								0-5	

1) Die Werte (in Massen-%) der Tabelle beziehen sich auf die Summe der Haupt- und Nebenbestandteile, d.h. ohne Calciumsulfat oder Zementzusatzmittel.
 2) Der Anteil an Silicastaub ist auf 10% begrenzt.
 3) In den Portlandkompositzementen CEM II/A-M und CEM II/B-M, in den Puzzolanzementen CEM IV/A und CEM IV/B und in den Kompositzementen CEM V/A und CEM V/B müssen die Hauptbestandteile neben dem Portlandzementklinker des Zementes angegeben werden.
 4) Stoffe, die als Nebenbestandteile dem Zement zugegeben werden, dürfen nicht gleichzeitig im Zement als Hauptbestandteil vorhanden sein.

Beispiele zur Interpretation der Bezeichnungen:

CEM Zement gem. Norm DIN EN 197-1	I Zementart Typ I (Portlandzement)	42,5 Festigkeitsklasse 42,5	N normale Anfangsfestigkeit
CEM Zement gem. Norm DIN EN 197-1	II / A - LL Zementart Typ II (Portlandkompositzement)	enthält 6-20% Zusatzstoff	Zusatzstoff ist hochwertiger Kalkstein
		32,5 Festigkeitsklasse 32,5	R hohe Anfangsfestigkeit



Autoren	Proben	Probenaufbereitung	Lösungsmittel	Verhältnis Probe / Lösungsmittel	Reaktionsdauer	Bestimmte Gehalte der Ionen (mg/kg) (1 mg/kg = 1 ppm = 0,0001 M.%)
Peroni et al (1981)	Labormörtel	Granulat: 1-2 mm, 0,5-1 mm, < 0,5 mm je 10 g	Bidestilliertes Wasser	30 g / 250 ml	30 Tage (jede Woche einmal umschütteln)	Na+: 41-207 K+: 53-810
Laurenzi Tabasso et al (1984)	Labormörtel, reine Bindemittel	aufgemahlen < 106 µm	Deionisiertes Wasser	5 g / 200 ml	7 Tage, Rütteltisch	Na+: 100-2400 K+: 100-9000 Ca++: 400-16900 (spez.Leitf.: 150-5200 µS/cm)
Faller et al (1987)	Bauwerksmörtel (1-15 Jahre alt)	aufgemahlen (?)	Wasser (bidestilliert?)	10-30 g / 100 ml	2 Tage schütteln, 20°C,	Na+: 34-676 K+: 99-3740 Ca++: 45-4542 Mg++: 4-2188
Faller und Althaus (1989)	Mörtelrohstoffe (Trasse, Trasskalke, Trasszemente)	nicht notwendig	Bidestilliertes Wasser	1 g / 100 ml	2 Tage, 3 Monate, 1 Jahr schütteln, 20°C	Na+: 37-7686 K+: 151-12099
Papayianni et al (1993)	Labormörtel	aufgemahlen	Destilliertes Wasser	5 g / 200 ml	7 Tage, Rütteltisch	Na+: 40-400 Ca++: 2500-11000
Betzliche (1994)	Labormörtel (28 Tage alt)	Perkolationsverfahren nach DIN 51100: (< 0,2 mm, destilliertes Wasser, 50 g / 1500 ml, Ende der Auslaugung wenn keine Sulfationen mehr nachweisbar sind)				Na+: 59-223 K+: 83-739 Ca++: 900-1421 SO4--: 480-1860
Gödicke-Dettmering und Strübel (1996)	Labormörtel (1/2 Jahr alt)	aufgemahlen	deionisiertes Wasser	10g / 100ml	24 Stunden schütteln	Na+: 13-346 K+: 29-776 Ca++: 376-6706 Mg++: 4-10 SO4--: 20-2096

Literaturzitat	Grenzwerte
Laurenzi-Tabasso et al (1984)	Na ⁺ + K ⁺ < 2500 mg/kg (Bindemittel?) Ca ⁺⁺ < 4000 mg/kg (Bindemittel?) spez. Leitfähigkeit < 1000 µS/cm
Faller und Althaus (1989)	Na ₂ O < 1000 mg/kg (Na ⁺ < 742 mg/kg) K ₂ O < 1000 mg/kg (K ⁺ < 830 mg/kg) MgO < 1000 mg/kg (Mg ⁺⁺ < 603 mg/kg)
DIN 105, Teil 1	Na ⁺ + K ⁺ < 300 mg/kg
DIN 105, Teil 3	Na ⁺ + K ⁺ < 150 mg/kg



Labormörteln (Kalk-Zement-Mörteln)
(Stand 3/2004)

Mörtelbezeichnung:

Mörtelhersteller

**Herstellung von Normprismen 4x4x16 cm in Styroporformen
(Schalöl kann Alkalien enthalten)**

Notwendige Angaben zur Labormörtelherstellung:

W/B-Wert:

Anmachwasser: Leitungswasser destilliertes Wasser

Lagerung: nach DIN 18555: 2-7 Tage in der Form im Feuchtraum,
danach bis zum 28. Tag bei 20/65 oder 23/50.

 oder

**Herstellung der Wasserauszüge am 28. Tag
(falls Herstellung nicht am 28. Tag möglich, Prismen vakuumverpacken)**

Für Probenaufbereitung ein Prisma auswählen

Probenaufbereitung: analysenfein aufgemahlen
 Mörtelgranalien 4-8 mm

Jegliche Anreicherung von Bindemittel ist bei der Probenaufbereitung zu vermeiden!

Einfachbestimmung Doppelbestimmung Dreifachbestimmung

Einwaage: g

Verhältnis Einwaage/destilliertes Wasser: 1:10

Elutionszeit: 24 Stunden

Bewegter Eluent: rühren schütteln

Filtrieren

IFS- Mitteilungen Nr.13 (2009)

Chemische Analyse des Filtrats

Analysenverfahren:
.....

Ergebnisse, Angaben in mg/kg

	Na+	K+	pH
Probe 1			
Probe 2			
Probe 3			
Mittelwert			

Optionale Angaben zum Mörtel

Rezeptur in Masseteilen:
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Untersuchungsstelle:
.....

Datum: 2/2

Literatur:

Kraus, K.; J. Eisenberg; D. Schenk, K. Droll (2003): Untersuchung wasserlöslicher Salzgehalte in modernen hydraulischen Kalkmörteln. 6th International Conference on Materials Science and Restoration MSR-VI, Aedification Publishers, 313-324



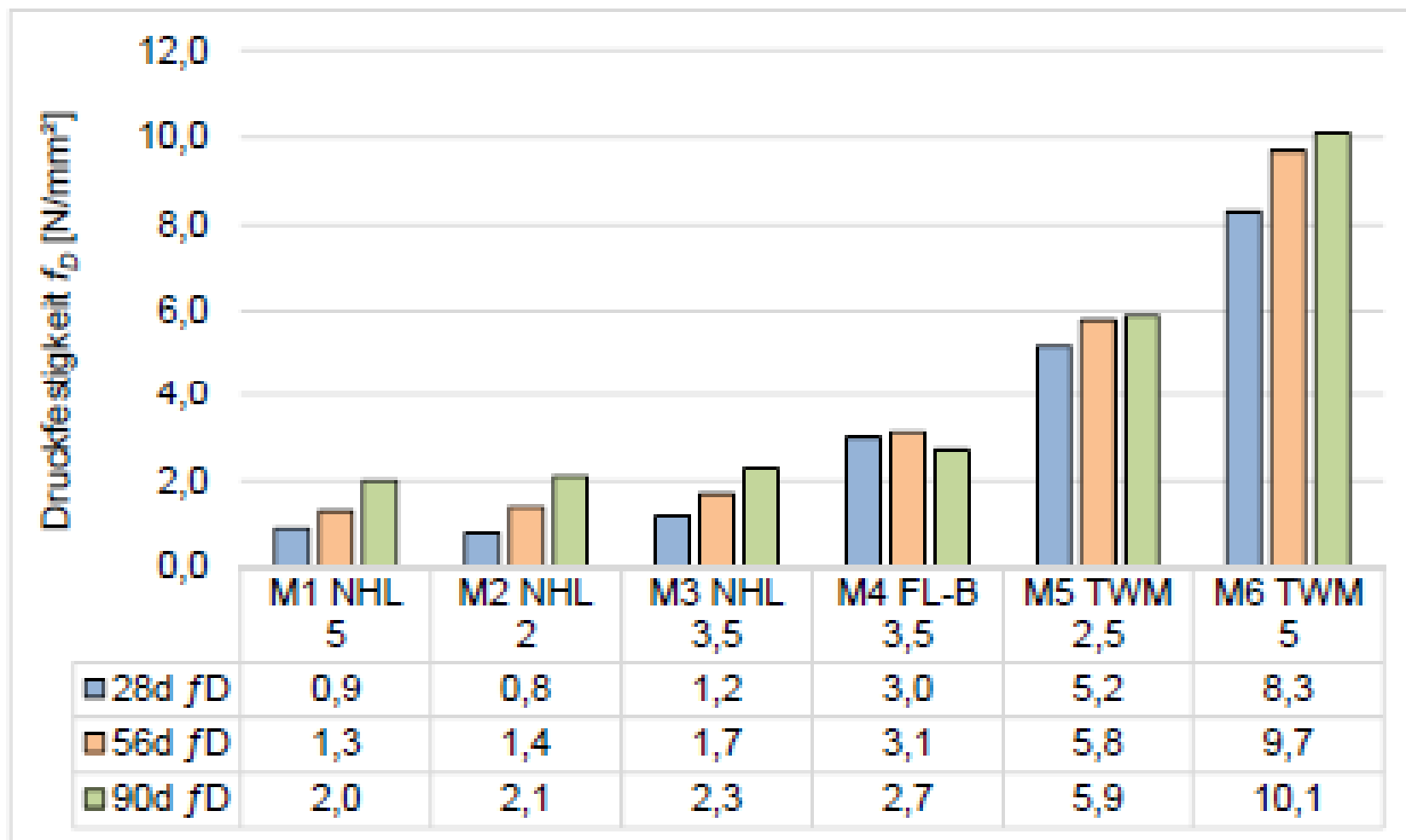


Abbildung 14: Druckfestigkeit f_D in N/mm², Mittelwerte

WILHELM, INA (2015): Eigenschaften von Mörteln mit unterschiedlichen Bindemitteln in verarbeitungsgerechter Rezeptur. Universität Kassel, Bachelorarbeit

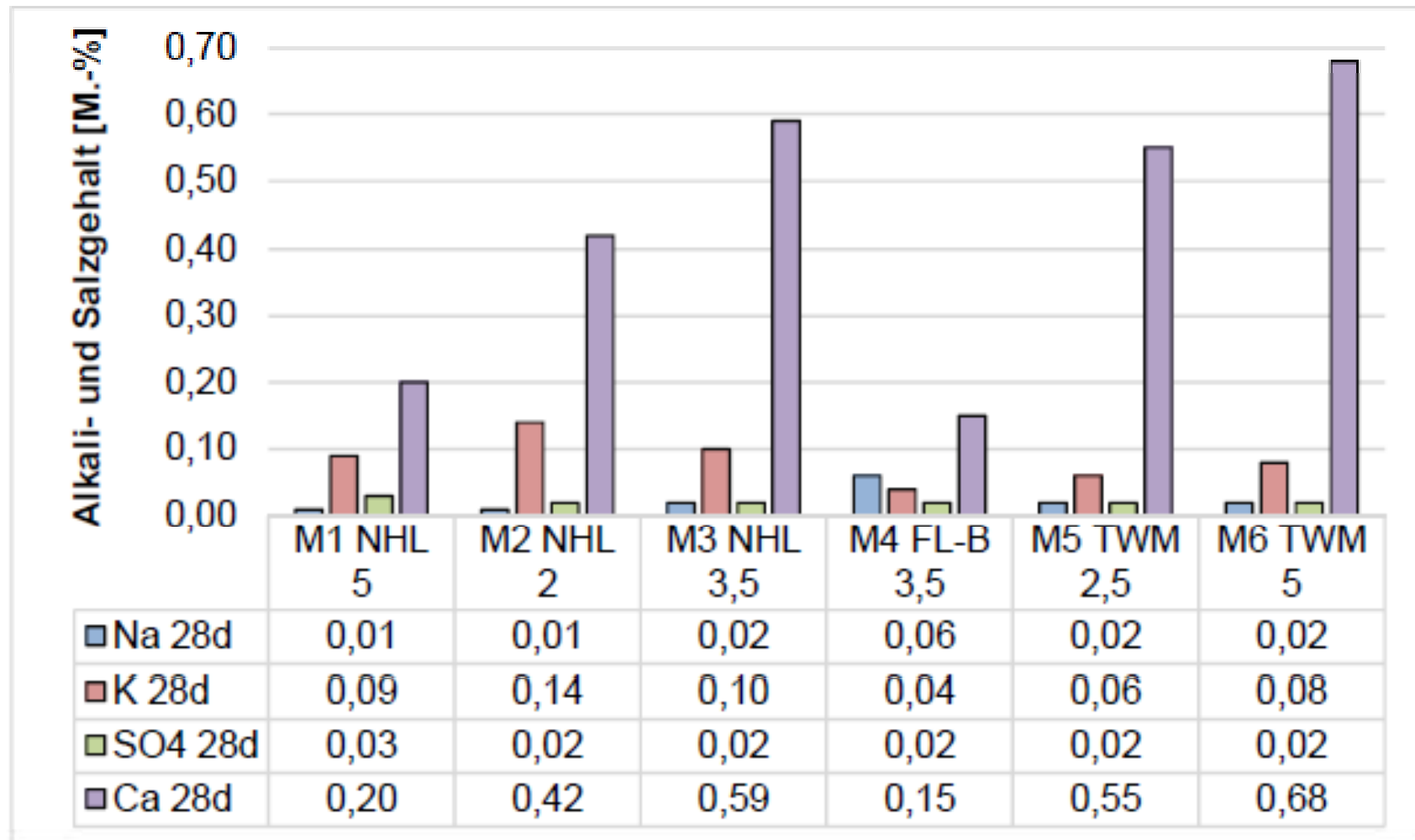


Abbildung 15: Alkali- und Salzgehalt in M.-% nach 28 Tagen, Mittelwerte

WILHELM, INA (2015): Eigenschaften von Mörteln mit unterschiedlichen Bindemitteln in verarbeitungsgerechter Rezeptur. Universität Kassel, Bachelorarbeit

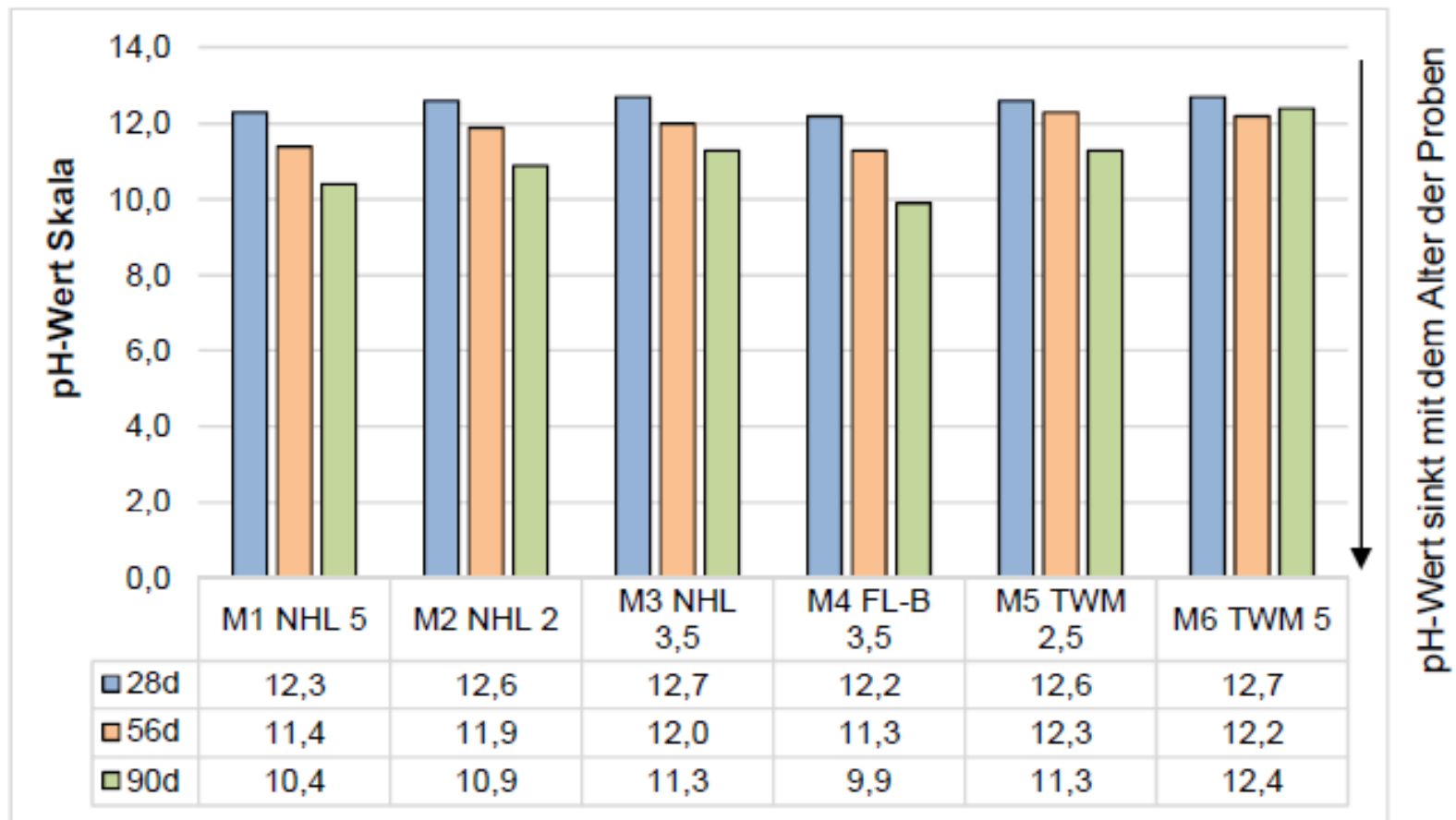


Abbildung 17: pH Mittelwerte

WILHELM, INA (2015): Eigenschaften von Mörteln mit unterschiedlichen Bindemitteln in verarbeitungsgerechter Rezeptur. Universität Kassel, Bachelorarbeit

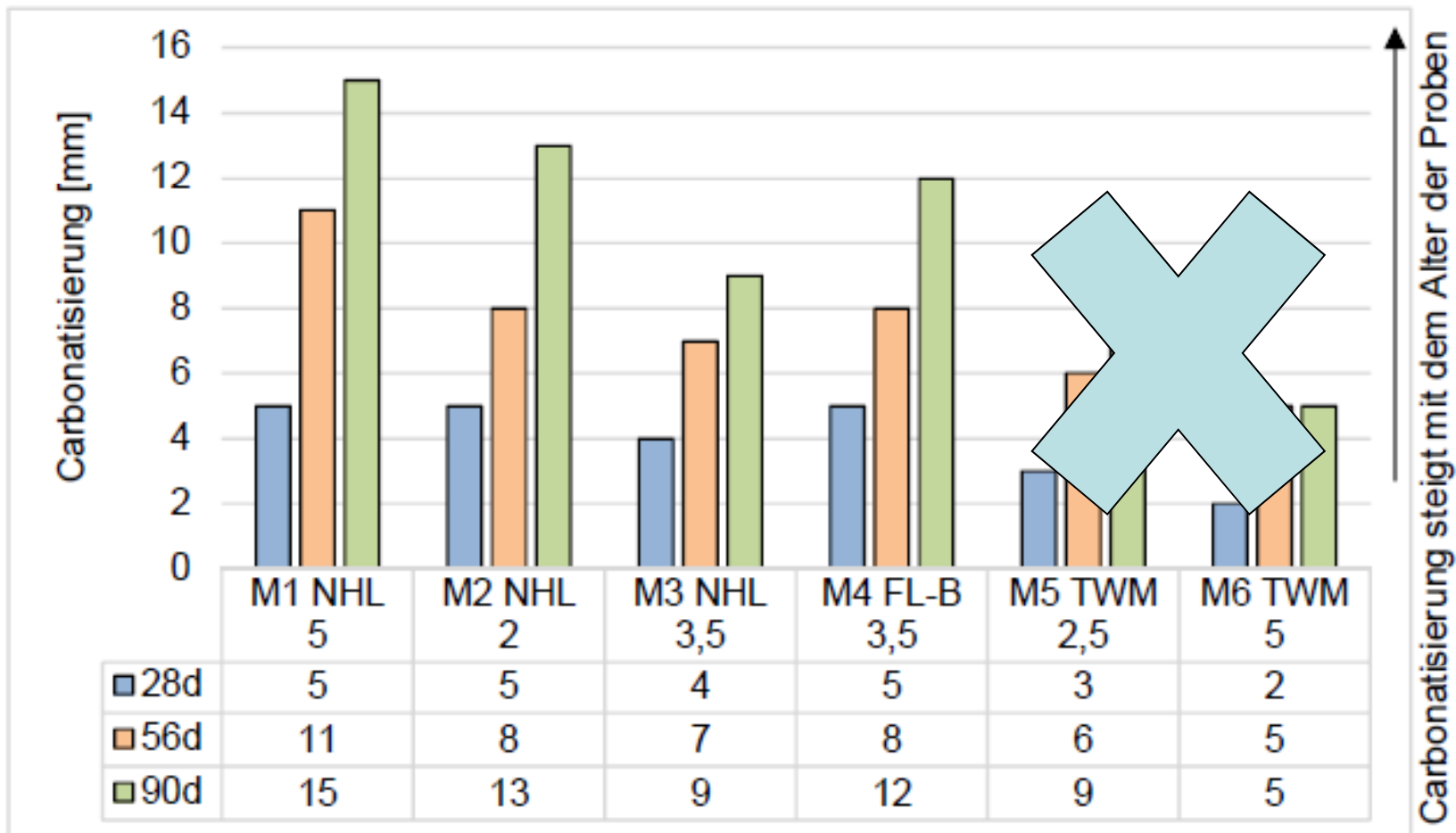


Abbildung 12: Carbonatisierung in mm, Mittelwerte

WILHELM, INA (2015): Eigenschaften von Mörteln mit unterschiedlichen Bindemitteln in verarbeitungsgerechter Rezeptur. Universität Kassel, Bachelorarbeit

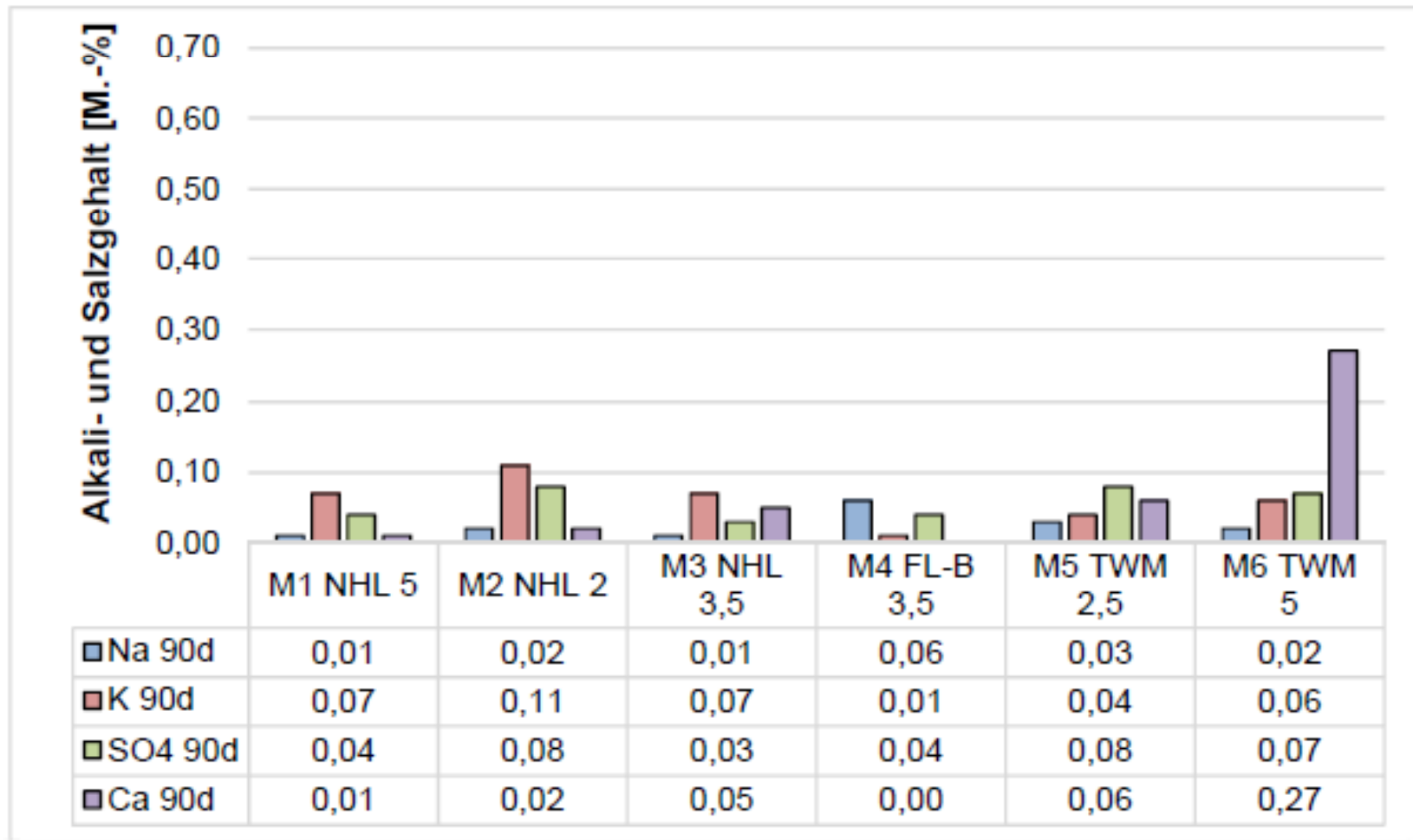


Abbildung 16: Alkali- und Salzgehalt in M.-% nach 90 Tagen, Mittelwerte

WILHELM, INA (2015): Eigenschaften von Mörteln mit unterschiedlichen Bindemitteln in verarbeitungsgerechter Rezeptur. Universität Kassel, Bachelorarbeit

Lösliche Salze in Werk trockenmörteln mit Rezepturen für historische Bauwerke

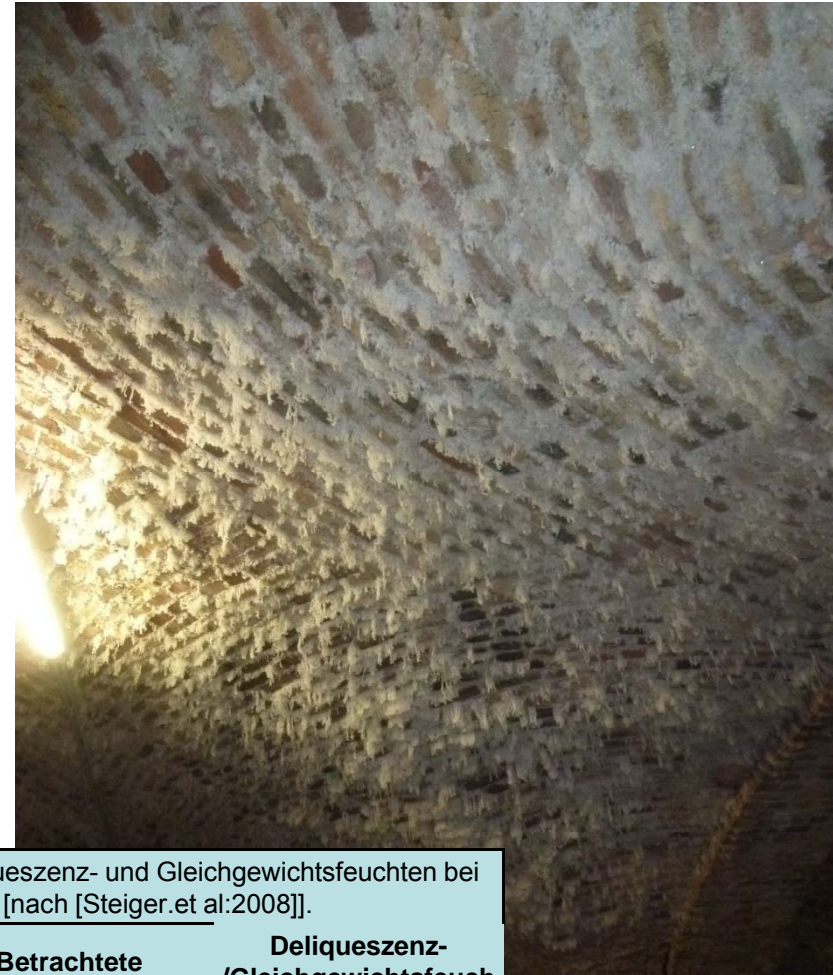


Mörtel mit Bindemittel	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ²⁻
	(mg/kg = 1ppm= 0,0001 M%)		
Weißkalkhydrat CL 90	n.n	n.n	0,0026
Weißkalkhydrat CL 80	0,009	0,062	0,0035
Natürlicher hydraulischer Kalk NHL2	0,005	0,137	0,016
Natürlicher hydraulischer Kalk NHL5	0,007	0,086	0,031
Formulierter Kalk FL B 3,5	0,057	0,042	0,023
Trass-Kalk-Werksteinmörtel M 2,5	0,020	0,064	0,021
Trass-Kalk-Werksteinmörtel M 5	0,024	0,083	0,024

Nach 28 Tagen Lagerung: aus Wilhelm, Ina; Masterarbeit, Uni Kassel

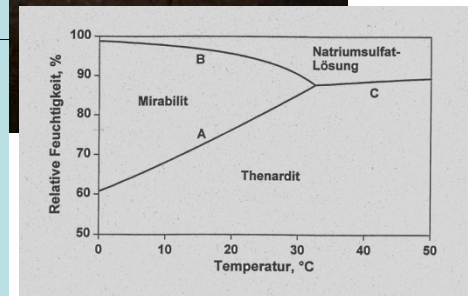
Alkaliengehalte < 0,1 M%

Koblenz, Deinhard Kellieranlage



Deliqueszenz- und Gleichgewichtsfeuchten bei 20 °C [nach [Steiger.et al:2008]].

Betrachtete Phasenübergänge	Deliqueszenz-/Gleichgewichtsfeuchte bei 20°C
Natriumsulfat Phase III-Lösung	82,9 %
Thenardit-Lösung	86,6 %
Natriumsulfat-Heptahydrat-Lösung	89,1 %
Mirabilit-Lösung	95,6 %
Thenardit-Mirabilit	76,4 %



Raumklima > 80% Luftfeuchtigkeit



Vielen Dank !

**Humor ist das Salz der Erde,
und wer gut durchgesalzen ist,
bleibt lange frisch.**

Karel Capek

