

WTA-Akademie denkmal.wissen.wein  
06.-07. Oktober 2023, Deidesheim



Dipl.-Ing. Jonny Henkel  
AK Bauwerksdiagnostik, Ahrensfelde bei Berlin

## Praxisbezogene Mauerwerksdiagnostik als Basis für ein nachhaltiges Instandsetzungskonzept von feuchte- und salzbelasteten Wänden



## Vita

- |           |   |  |
|-----------|---|--|
| 1986-1989 | Lehre Baufacharbeiter mit Abitur  | Wohnungsbaukombinat Suhl                       |
| 1989-1991 | Baufacharbeiter   | Ilmenauer Baugesellschaft mbH                  |
| 1991-1997 | Bauingenieurstudium   | Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar |
| 1997-1999 | Mitarbeiter am Institut   | IFF Weimar                                     |
| 1999-2009 | Projektingenieur  | BRB Prüflabor Bernau (bei Berlin)              |
| Seit 2009 | Eigenes Ingenieurbüro und Labor   | AK Bauwerksdiagnostik                          |
| Seit 2014 | Aktives Mitglied der Wissenschaftlich-Technischen Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA e.V.) im Referat 7 – Tragverhalten und Schadensdiagnostik |  |
| 2018-2021 | Leitung der Arbeitsgruppe 7-4 (Ermittlung der Druckfestigkeit von Bestandsmauerwerk aus künstlichen kleinformatigen Steinen), Merkblatt 7-4 erschien im November 2021             |  |
| Seit 2021 | Leitung der Arbeitsgruppe 7-6 (Mauerwerkseigenschaften – Ermittlung und Bewertung)  |  |







































# Schwerpunkte

1. Allgemeines zu Feuchte und Salzen
2. Untersuchungen in der Praxis
  - 2.1 Untersuchung des Aufbaus
  - 2.2 Feuchteanalyse an entnommenen Proben
  - 2.3 Zerstörungsfreie Feuchtemessungen
  - 2.4 Klimamessung
3. Praxisbeispiele
  - 3.1 Geschäftsgebäude Berlin-Kreuzberg
  - 3.2 Kaufmannshaus Brüderstraße Angermünde
  - 3.3 Geschäftsgebäude Berlin-Mitte



# 1. Allgemeines zu Feuchte und Salzen

## Was ist Feuchtigkeit (www.chemie.de)?

Der Ausdruck Feuchtigkeit kennzeichnet die Anwesenheit von Wasser in einer Substanz oder einem Gas. Befindet sich die Feuchtigkeit an der Oberfläche eines Stoffes, so spricht man von Nässe, Kondensat, oder Adsorption.



**WIKIPEDIA**  
*Die freie Enzyklopädie*

## Wikipedia, Artikel „Baufeuchte“

**Feuchte Baustoffe:** Feuchtigkeit wird fast immer zur Herstellung von Baustoffen in Form von Wasser genutzt und ist bis zu einem bestimmten Punkt normal.

Jeder Baustoff muss einen Mindestanteil an Feuchtigkeit haben um nicht zu zerfallen. Bei zu wenig Feuchtigkeit zerbröseln er, bei zu viel Feuchtigkeit löst er sich auf. Man spricht bei dieser Feuchtigkeit von der Ausgleichsfeuchtemenge.



# 1. Allgemeines zu Feuchte und Salzen

WTA-Merkblatt 4-11:  
**Feuchtekenwerte**

## **Wassergehalt $u$ in [M.-%]**

→ Verhältnis von Masse der feuchter Probe bezogen auf Masse der bei 105°C getrockneten Probe

## **Freier Wassergehalt $u_f$ bzw. max. Wassergehalt $u_{\max}$ (Sättigungsfeuchte) in [M.-%]**

→ Verhältnis von Masse der wassergesättigten Probe bezogen auf Trockenmasse

## **Hygroskopische Feuchte $u_{\text{hyg}}$ in [M.-%]**

→ Verhältnis von Masse der infolge Sorption aufgenommenen Feuchte der Probe bezogen auf Trockenmasse

## **Durchfeuchtungsgrad DFG [%]**

→ Verhältnis von Wassergehalt zu Sättigungsfeuchte

## **Hygroskopischer Durchfeuchtungsgrad $DFG_{\text{hyg}}$ [%]**

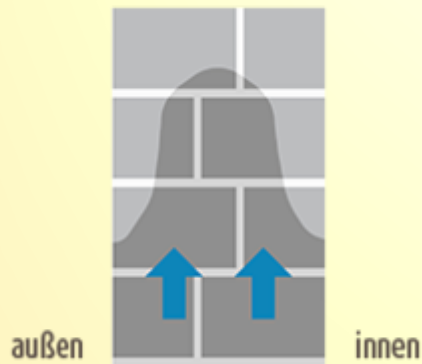
→ Verhältnis von hygroskopischer Feuchte zu Sättigungsfeuchte



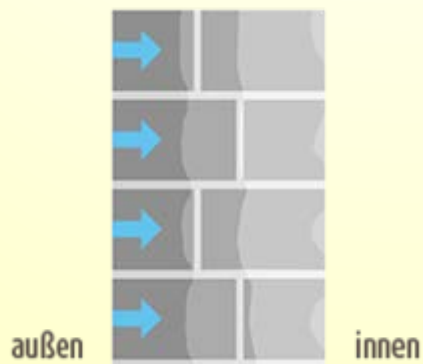


# 1. Allgemeines zu Feuchte und Salzen

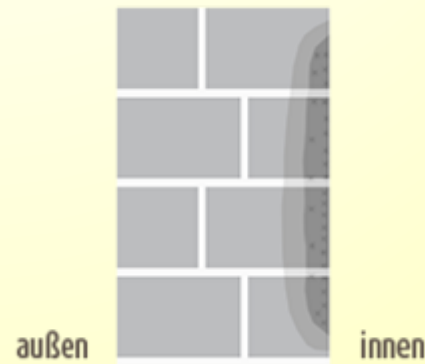
## Arten des Feuchteintrags ins Mauerwerk



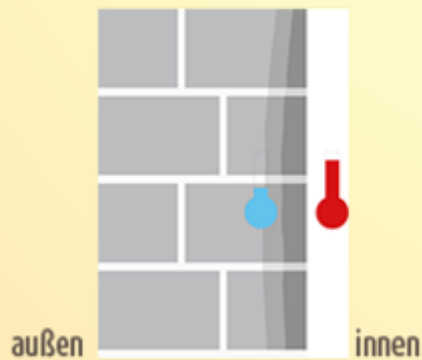
**Aufsteigende Feuchte**  
(Quelle: www.isotec.de)



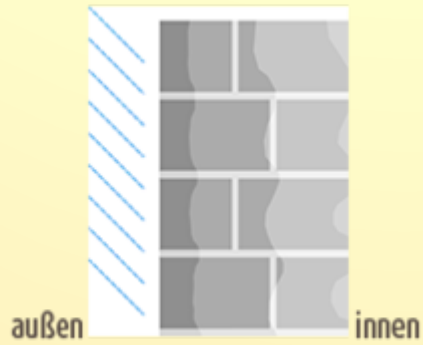
**Vertikal eindringende Feuchte**  
(Quelle: www.isotec.de)



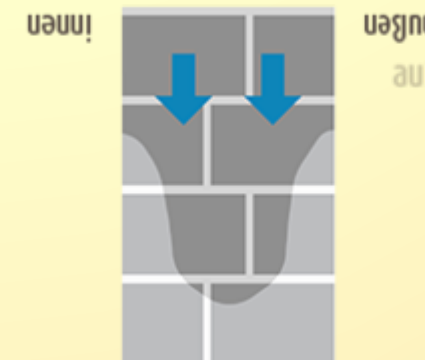
**Hygroskopische Feuchte**  
(Quelle: www.isotec.de)



**Kondenswasserbildung**  
(Quelle: www.isotec.de)



**Schlagregenbeanspruchung**  
(Quelle: www.isotec.de)



**Absteigende Feuchte**  
(Quelle: www.isotec.de)

Meist ist eine Mischung von Schadursachen vorhanden !





# 1. Allgemeines zu Feuchte und Salzen

## *Bauschädliche Salze*

Anionen → Sulfat, Chlorid, Nitrat (Carbonat, Fluorid, Sulfid, ...)

Kationen → Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium, Ammonium (Eisen, Aluminium, ...)

Salze, die unter Normalbedingungen in fester Form vorliegen:

- z.B. Calciumsulfat (Gips), Calciumkarbonat (Kalkstein)

Salze, die unter Normalbedingungen in Lösung gehen und wieder auskristallisieren:

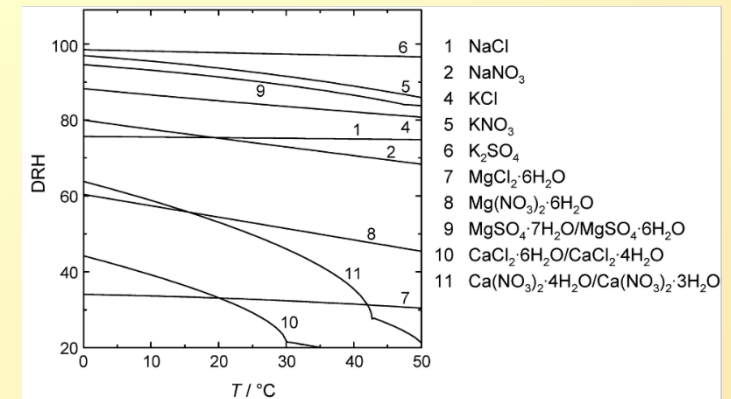
- z.B. Natriumsulfat, Kaliumsulfat, Magnesiumsulfat, Natriumchlorid

Salze, die unter Normalbedingungen in Lösung bleiben:

- z.B. Kalziumchlorid, Magnesiumchlorid

Messung (Anionen bzw. An- und Kationen):

- Bestimmung der Leitfähigkeit
- Halbquantitativ mit Teststreifen
- Nasschemische Verfahren (Gravimetrie, Photometrie)
- Ionenchromatografie, Elektronenmikroskopie



Deliqueszenzfeuchten einiger bauschädlicher Salze  
(Quelle: www.salzwiki.de)





# 1. Allgemeines zu Feuchte und Salzen

## *Herkunft der Salze*

Sulfate: Ton bzw. Lehm für die Ziegelherstellung  
Gipsbaustoffe  
Saurer Regen

Chloride: Streusalze  
Konservieren von Lebensmitteln

Nitrate: Aus Fäkalien von Menschen oder Tieren  
Konservieren von Lebensmitteln  
Düngemittel



DDR-Ziegelsteine (unbenutzt) mit Salzausblühungen  
(Quelle: [www.kleinanzeigen.de](http://www.kleinanzeigen.de))



Düngerlager in Scheune



## 2.1 Untersuchung des Aufbaus

### Infos zur Bauhistorie

- Material (örtlicher Bezug)
- Qualität
- Bauweise
- Schäden (Krieg etc.)
- Umbauten, Sanierungen etc.
- Nutzung

### Kubatur und Grundriss

- Umbauten
- Anbauten

### Ansehen und Umsehen!



Berlin nach dem 2. Weltkrieg  
(Quelle: [www.rbb-online.de](http://www.rbb-online.de))



## 2.1 Untersuchung des Aufbaus

### Entnahme von Bohrkernen

Informationen über:

- Mauersteine
- Mauermörtel
- Verband
- Gefüge
- Luftschichten
- Materialwechsel
- Sonstige unerwartete Sachen

### Anlegen von Sondierschlitz

- Mauerwerksoberfläche
- Lage eventueller Sperrschichten
- Putzaufbau





## 2.2 Feuchteanalyse an entnommenen Proben

WTA-Merkblatt 4-5-99/D:  
**Beurteilung von Mauerwerk**  
– Mauerwerksdiagnostik

Typischer Untersuchungsumfang für ein Bauteil zur Bestimmung des Feuchte- und Salzgehaltes:  
**6 Einzelproben → 1 Messachse in 3 Höhenlagen und 2 Tiefenlagen**

Typische Probegrößen zur Bestimmung des Feuchte- und Salzgehaltes:  
**Bohrkern  $d > 3 \text{ cm}$ ,  $l \geq 5 \text{ cm}$  oder Bohrmehl 50-100 g/Probe**

Prüfverfahren zur Feuchtebestimmung:  
**CM-Methode** oder **Darr-Methode**

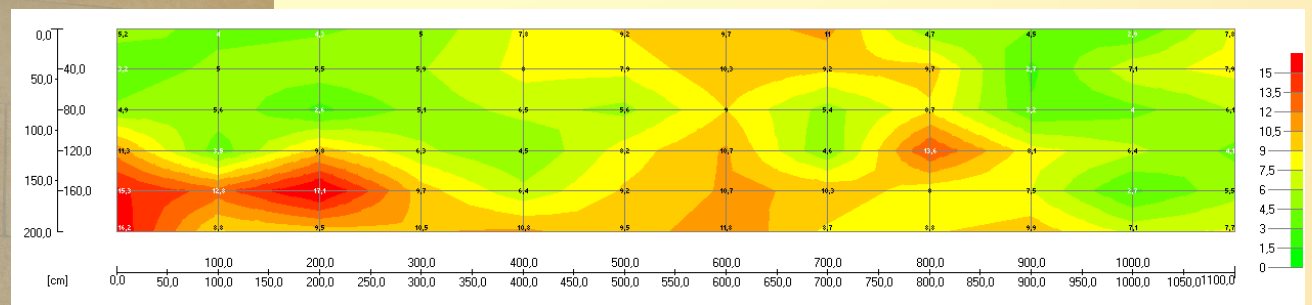
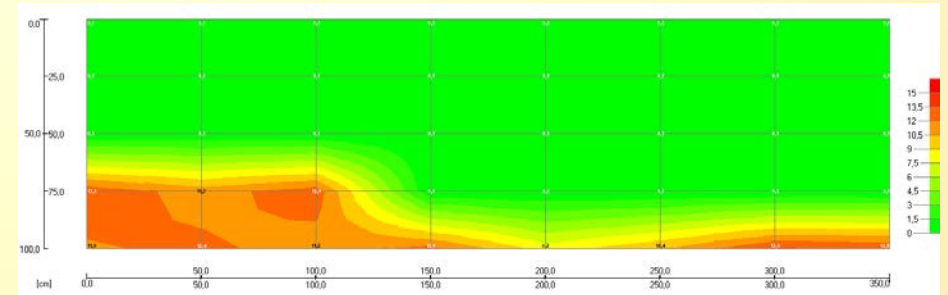
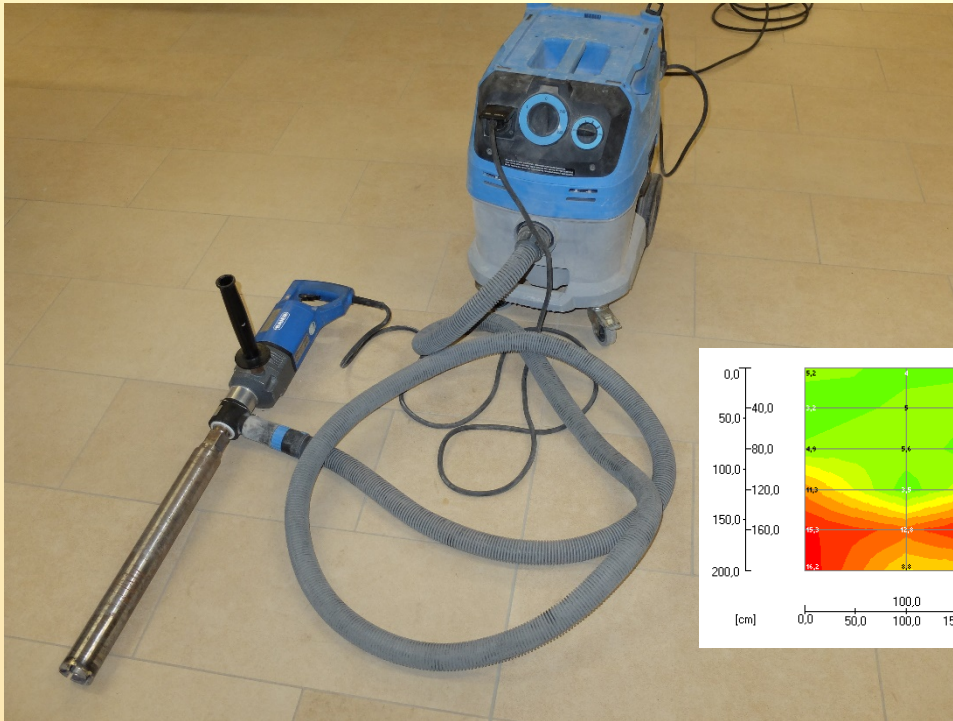
- Untersuchungen nicht ausreichend!**
- Keine Angaben über Mauerwerk in der Tiefe
  - Bei Bohrmehl bzw. CM-Methode keine Bestimmung des Durchfeuchtungsgrades
  - Angaben nur für eine Messachse



## 2.2 Feuchtemessung an entnommenen Proben

### Bessere Vorgehensweise

- Entnahme von Bohrkernen  $d \geq 5$  cm mittels Trockenbohrtechnik mit Luftkühlung und Softschlag / Staubabsaugung über die gesamte Wanddicke
- Feuchteuntersuchung durch Darmmethode
- Begleitende Untersuchung mittels zerstörungsfreier Messmethoden





## 2.3 Zerstörungsfreie Feuchtemessungen

### Funktionsweise

(WTA-Sachstandsbericht „Messung der Feuchte von mineralischen Baustoffen“)

- Messung eines elektrischen Referenzwertes, der zur Feuchte in einem bestimmten Verhältnis steht
  - Widerstandsmessverfahren
  - kapazitives (dielektrisches) Messverfahren
  - Mikrowellenmessverfahren



T510 (Quelle: [www.trotec.com](http://www.trotec.com))



Hydromette Compact B (Quelle: [www.gann.de](http://www.gann.de))



MOIST 350 B (Quelle: [www.hf-sensor.de](http://www.hf-sensor.de))



## 2.3 Zerstörungsfreie Feuchtemessungen

### *Vergleich der Messverfahren*

Verfahren	Messtiefe	Beeinflussende Faktoren
Widerstandsmessverfahren	0-2 cm	Salzgehalt, sehr kleiner Messbereich
Kapazitives Messverfahren	1-4 cm	Salzgehalt, kleiner Messbereich
Mikrowellenmessverfahren	1-30 cm	Ankopplung, Hohlräume

Er werden Informationen werden über die Mauerwerksoberfläche **und** über den Mauerwerkskern benötigt.

- Entweder: Kombination mehrerer Verfahren
- Oder: Mikrowellenmessung mit unterschiedlichen Messköpfen
- Sinnvoll: Anlegen von Messfeldern

Möglichst nur als Vergleichsmessung verwenden!

- Digits  $\neq$  Feuchtegehalt
- Messwerthinterlegte Feuchteumrechnungen sind meist fraglich





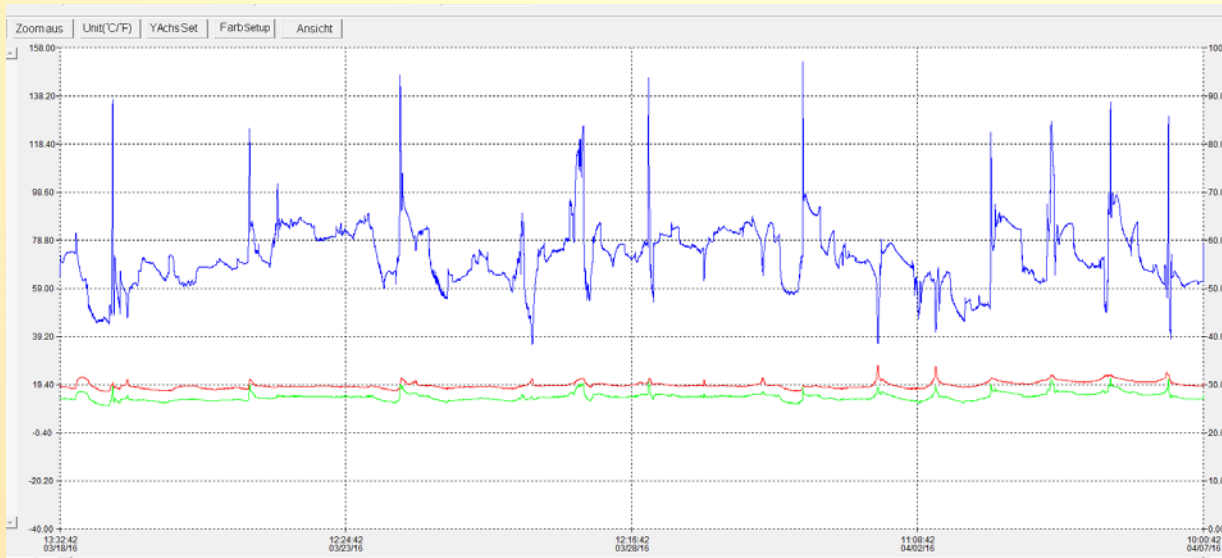
## 2.4 Klimamessung

### Klimamessung (Luftfeuchte, Temperatur)

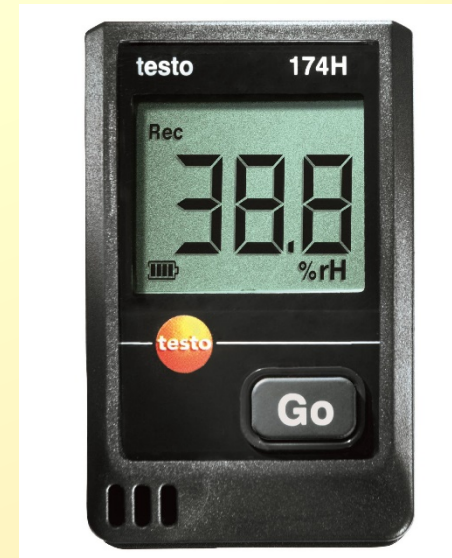
- Einmalmessung vor Ort
- Datenaufzeichnung über einen längeren Zeitraum
- Auswertung der Messkurven



Thermo-Hygrometer PCE-555  
(Quelle: [www.directindustry.de](http://www.directindustry.de))



Luftfeuchteaufzeichnung eines Badezimmers



testo 174 H - Mini-Datenlogger  
(Quelle: [www.testo.com](http://www.testo.com))





## 3.1 Praxisbeispiel 1: *Geschäftsgebäude, Berlin-Kreuzberg*



Sanierte Straßenfassade (Quelle: [www.ernst-architekten.de](http://www.ernst-architekten.de))

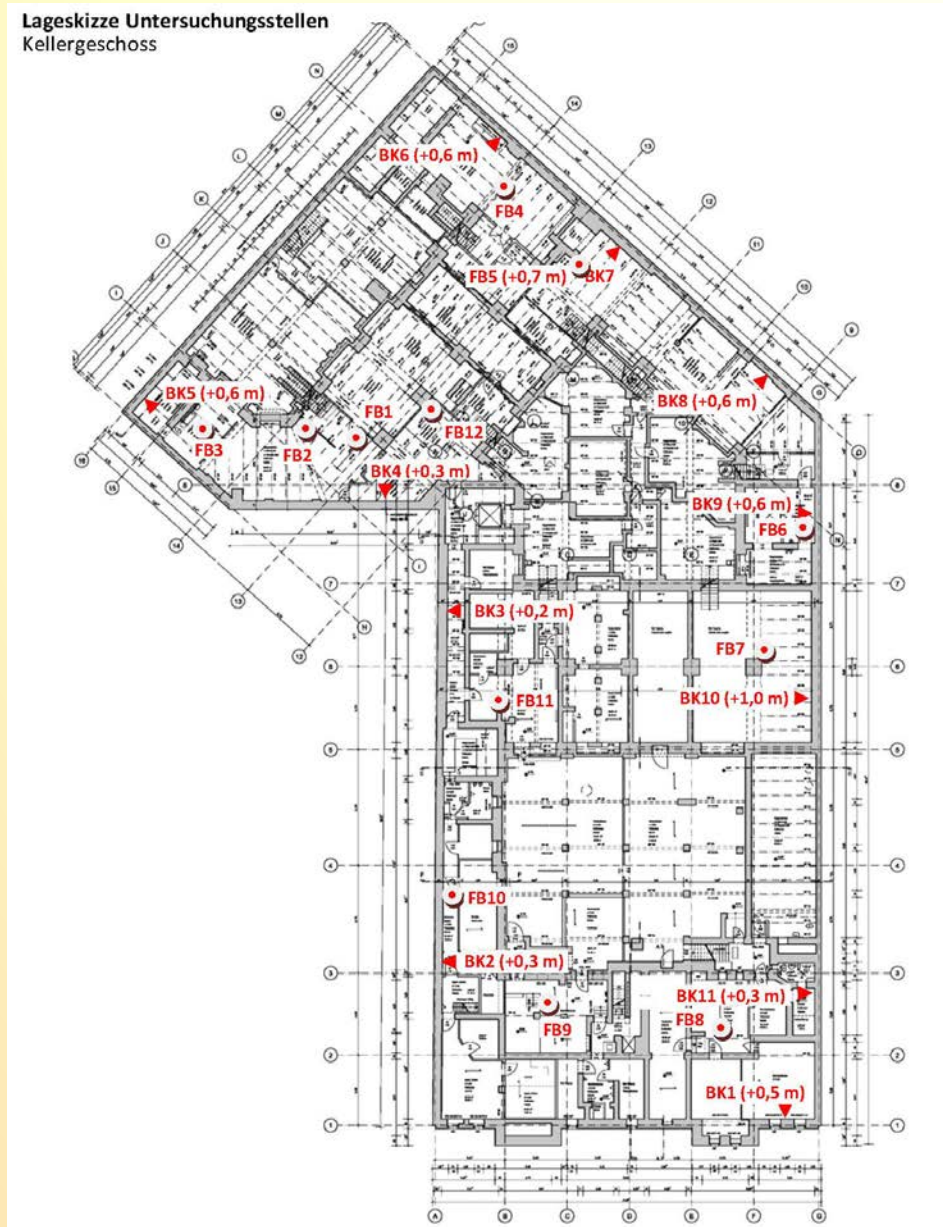


Sanierter Innenhof (Quelle: [www.ernst-architekten.de](http://www.ernst-architekten.de))

- 1899 zwei Hinterhäuser und vier Seitenflügel für gewerbliche Nutzungen errichtet
- 1912 Vorderhaus mit einem Seitenflügel im 1.Hof für Wohnnutzungen gebaut
- im 2.Weltkrieg Verlust einiger Dach- und Obergeschosse  
→ nach dem Krieg notinstandgesetzt
- Nachbargebäude stark zerstört
- seit 2001 Baudenkmal



## 3.1 Praxisbeispiel 1: *Geschäftsgebäude, Berlin-Kreuzberg*



- Innenhöfe komplett unterkellert
- Abdichtung der Innenhöfe undicht
- Kellerwände in weiten Bereichen nass mit Ausblühungen und Putzabplatzungen

### Zielstellung

- Keller trocken legen für eine untergeordnete Nutzung in weiten Bereichen (z.B. Fahrradkeller)
- In einzelnen Abschnitten höhere Anforderungen (Technikräume)
- Innenhöfe werden umgebaut (Decken entfernen und neue Tiefgarage einbauen)

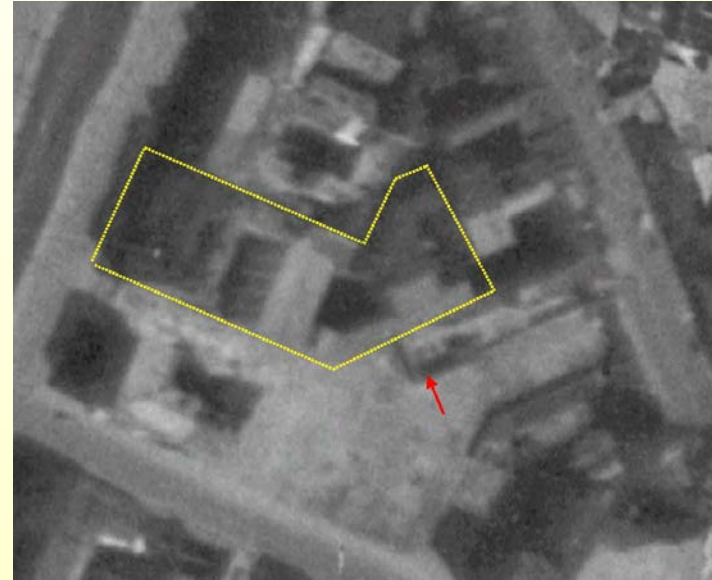
Grundriss Kellergeschoss mit Lage der Untersuchungsstellen



### 3.1 Praxisbeispiel 1: *Geschäftsgebäude, Berlin-Kreuzberg*



Luftbild 1928 (Quelle: Google Earth)



Luftbild 1953 (Quelle: Google Earth)

- Nachbargebäude waren z.T. vorhanden
- Wurden nach Kriegszerstörungen vollständig entfernt
- Kellerwände sind jedoch in der Regel vorhanden

Kriegsschäden (Quelle: Geoportal Berlin)



# 3.1 Praxisbeispiel 1: Geschäftsgebäude, Berlin-Kreuzberg

**AK Bauwerksdiagnostik**  
 Untersuchungen und Gutachten im Bauwesen

Projekt 15-064

**Feuchte- und Salzanalyse**

Bauvorhaben: **Geschäftsgebäude, Erkelenzdam 11/13, 10999 Berlin**

Bautell: **KG, 1. Hinterhaus, nördliche Außenwand**      Bohrkern: **BK 3**

Lage: **steile Anlage 1 / 0,2 m über OK FB KG (Raum); ca. 2,1 m unter GOK**

Bohrkernabschnitt:	[1]	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Gesamtlänge
Bohrtiefe: [cm]	6,8	13,0	19,5	26,0	32,5	39,0	45,5	52,0	58,0	65,0	71,5	78,0	84,5	91,0	91,0	
Material:	[1]	ZA	ZA	ZA	ZA	ZA	ZA	ZA	ZA	ZA	ZA	ZA	ZA	ZA	ZA	

Feuchteparameter:	[1]	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Maximalwerte
Feuchtegehalt [g/kg]	0,6	0,4	0,5	0,6	1,4	1,4	1,9	1,9	1,0	0,9	1,7	1,9	14,5			14,5
kap. Sättigungfeuchte [g/kg]	21,6	21,7	21,6	21,4	19,5	19,6	19,3	16,6	14,8	15,4	16,8	23,2				23,2
Durchfeuchtungsgrad [1]	2,9	1,7	2,3	2,8	7,4	8,0	9,4	9,7	8,2	10,7	11,3	63,9				64
Hygroskopischer DFG [1]	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				2

berechnet mit Datasofts KUGIA (bei ca. 75 % rel. LF / 20 °C)

Salzgehalte:	[1]	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Maximalwerte
Gesamtsalzgehalt [mg/l]																0,0
Sulfat [mg/l]																0,0
Chlorid [mg/l]																0,0
Nitrat [mg/l]																0,0

Bewertung Salzgehalte:

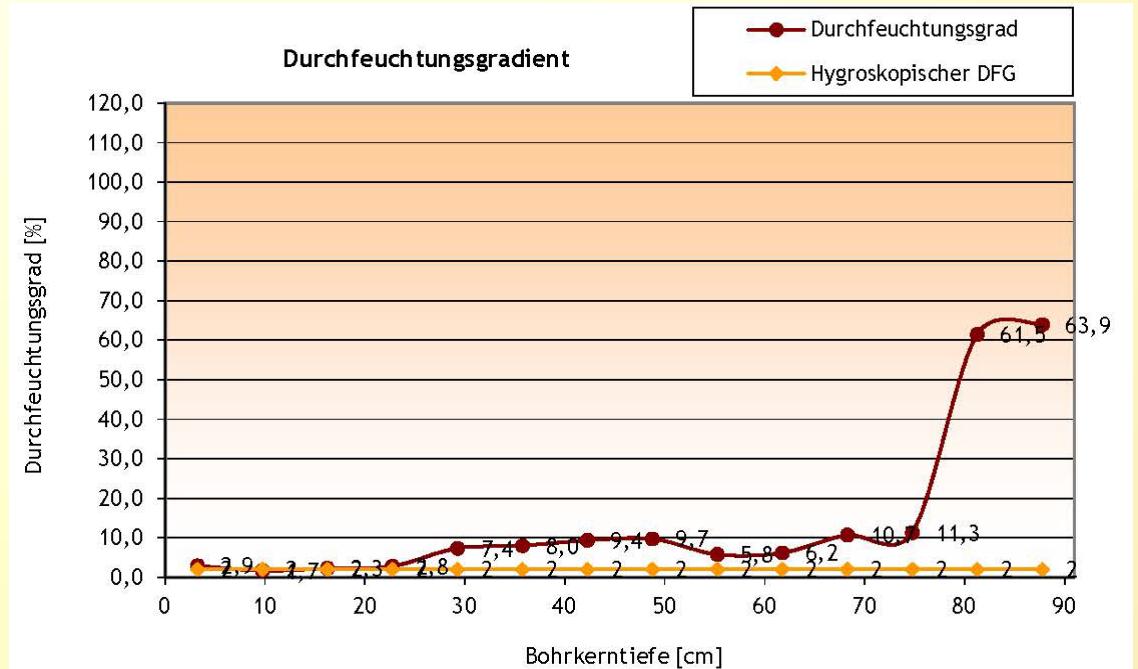
Salzgehalte:	[1]	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Gesamtsalzgehalt [1]															
Sulfat [1]															
Chlorid [1]															
Nitrat [1]															

Abbildung: **BK 3**    1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Kurzzeichen: P I - Kalkmörtel    P II - Kalk-Zementmörtel    P III - Zementmörtel    P IV - Gipsmörtel    L - Luft  
 ZA - Ziegel alt    ZN - Ziegel neu    KS - Kalksandstein    PB - Porensieton

INGENIEURVERBUND    BAUSTOFFPRAKTIK • BAUWERKS DIAGNOSTIK    Anlage 2/3

Messdatenblatt für Bohrkern BK3



Verlauf der Durchfeuchtungsgrade über den Wandquerschnitt

- Durchfeuchtung geht in Wand des Nachbargebäudes merklich nach oben
- Vorhandene Horizontalsperre ist weitgehend intakt





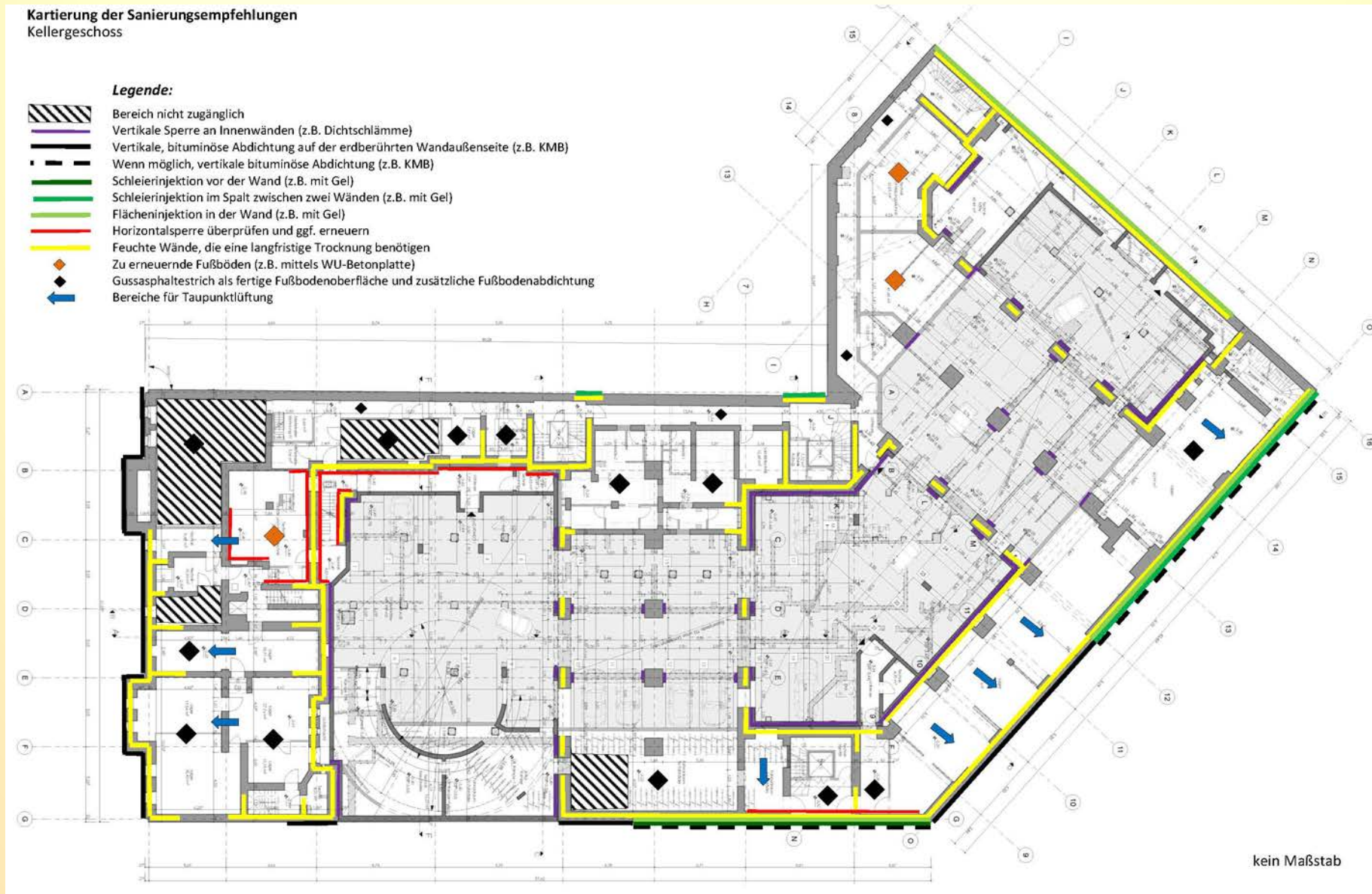
## 3.1 Praxisbeispiel 1: *Geschäftsgebäude, Berlin-Kreuzberg*

- Innenwandbereiche mit Kontakt zu Tiefgaragenwänden mit mineralischer Dichtschlämme behandeln
- Nachträgliche Vertikalsperre an erdberührte Außenwände
- An nicht von außen zugänglichen erdberührten Außenwandbereichen Schleierinjektion oder Injektion in Grenzfuge oder Flächeninjektion
- In Einzelbereichen Erneuerung der Horizontalsperre
- Entfernen von Wandfarben und zusätzliche Trocknungsmaßnahmen
- In Technikräumen Fußboden entfernen und durch WU-Beton-Konstruktion ersetzen
- In anderen Bereichen vorhandenen Fußboden mit Gussasphaltestrich überbauen
- Bereichsweise Einbau einer Taupunkt-Lüftungs-Anlage

Legende der  
Sanierungskartierung



# 3.1 Praxisbeispiel 1: *Geschäftsgebäude, Berlin-Kreuzberg*





## 3.2 Praxisbeispiel 2: Objekt in Angermünde (ehem. Kaufmannshaus)

Historischer Lageplan

- Gebäude ist in mehrere Teile gegliedert
- 1850 wurde das Hauptgebäude als Kaufmannshaus errichtet
- Kurze Zeit später wurde ein Anbau an das Hauptgebäude angefügt
- Später kam ein weiterer Anbau mit Pferdeställen dazu
- Nutzung als Kaufmannshaus und Gaststätte, dann Umbau als Wohnungen
- Seit mehreren Jahren sanierungsbedürftig

## 3.2 Praxisbeispiel 2: Objekt in Angermünde (ehem. Kaufmannshaus)



Mauerwerk (außen und innen)



- Schwach gebrannte Ziegel in Teilbereichen
- Starke Schäden an den Wänden im Erdgeschoss (Putzabplatzungen, Ziegelschäden)
- Fundamente aus Feldsteinmauerwerk



## 3.2 Praxisbeispiel 2: Objekt in Brandenburg (ehem. Kaufmannshaus)



Entnommene Bohrkern mit Ersatzmauerwerk auf der Innenseite

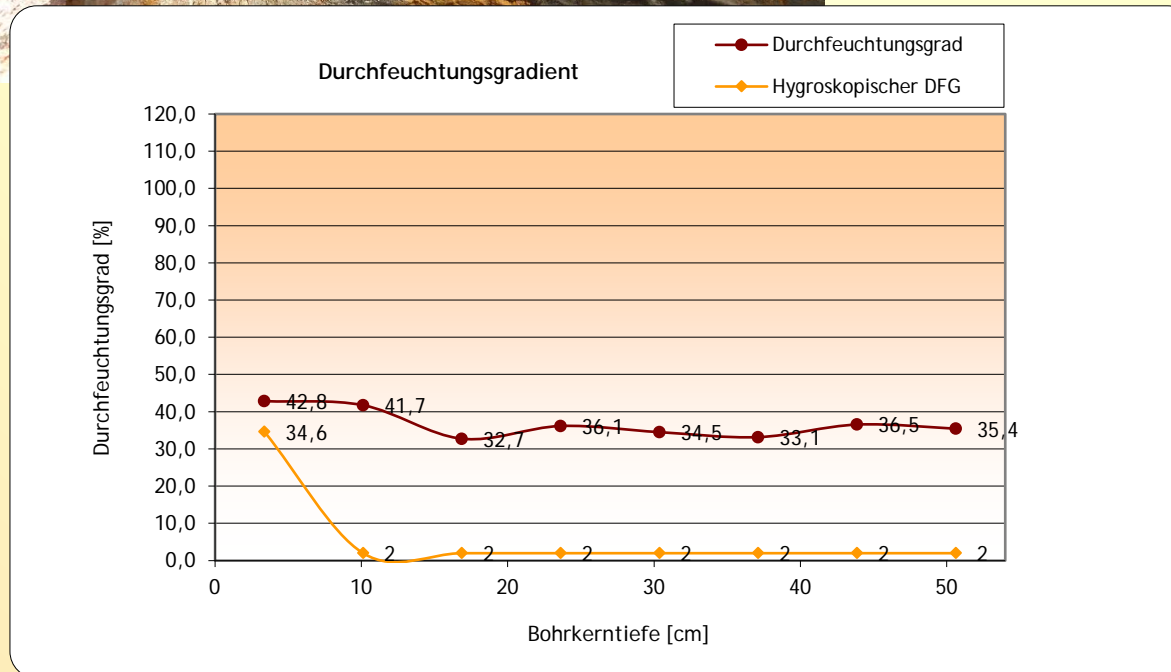
- Ersatzmauerwerk auf der Innenseite
- Bereichsweise sehr geringe Ziegelfestigkeiten
- Dunklere Färbung einzelner Ziegel
  
- Extrem hohe Chloridbelastung
- Nitratgehalte ebenfalls erhöht
- Sulfate leicht erhöht

## 3.2 Praxisbeispiel 2: Objekt in Brandenburg (ehem. Kaufmannshaus)



- Kellerinnenwände aus Ziegelmauerwerk
- Optisches Bild einer aufsteigenden Feuchte
- Hohe hygroskopische Feuchte im Mauerwerk

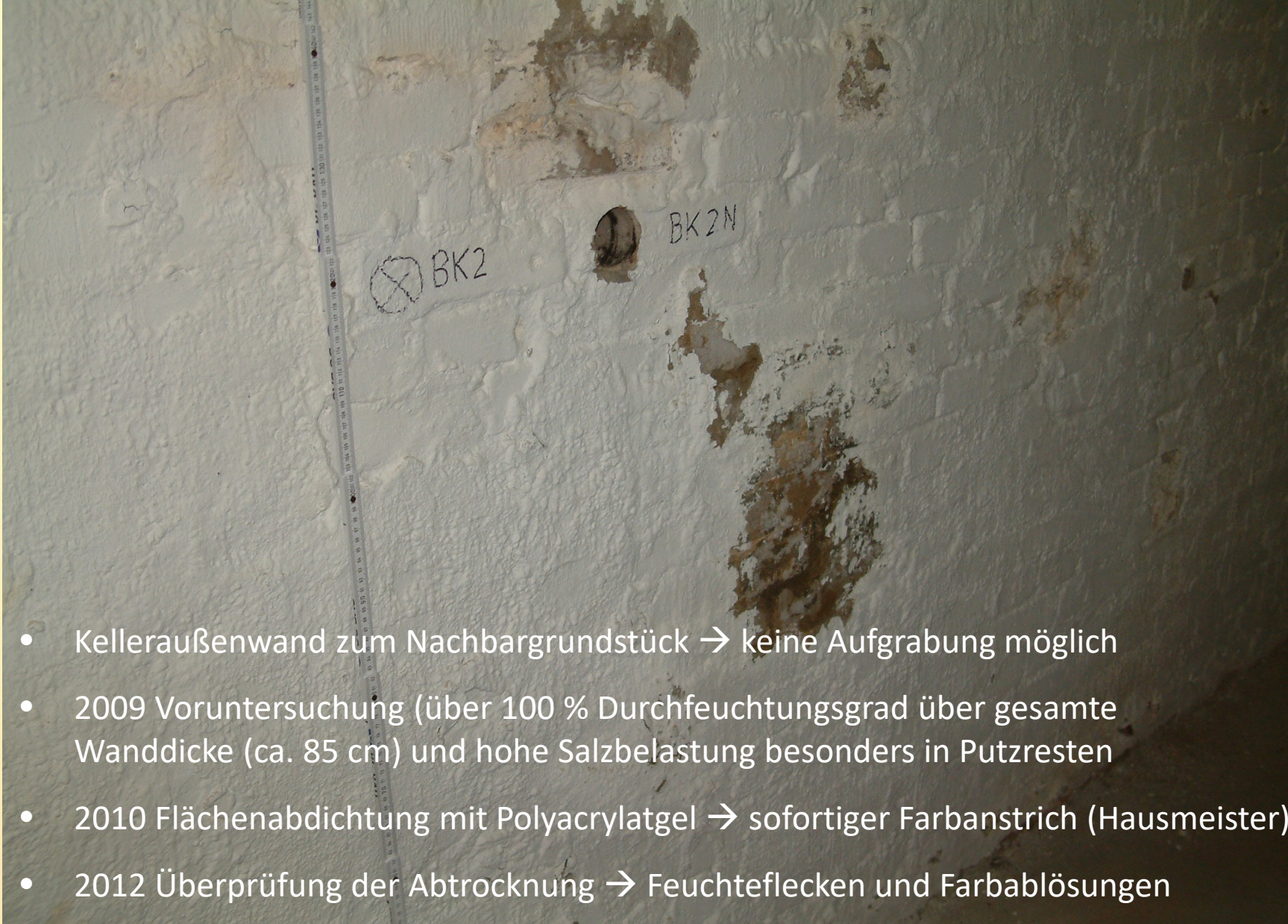
Typisches Schadbild der Kellerinnenwände



Durchfeuchtungsgradient der Kellerinnenwände



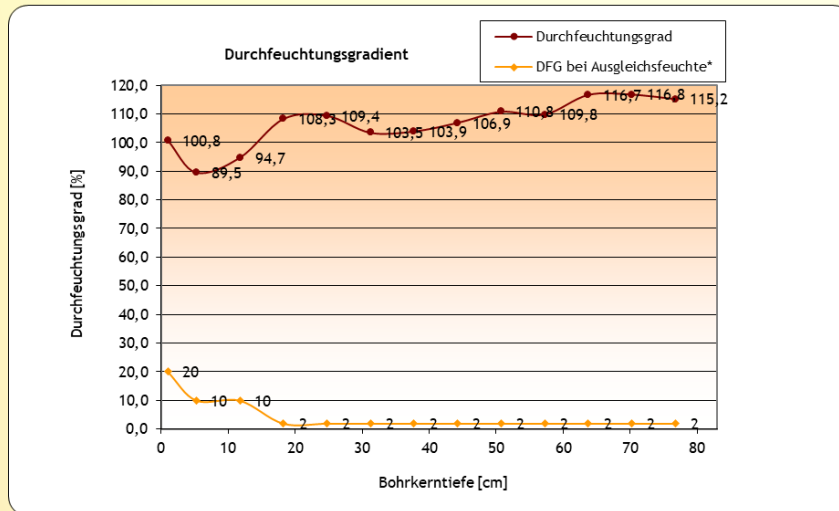
### 3.3 Praxisbeispiel 3: Geschäftsgebäude, Berlin-Mitte



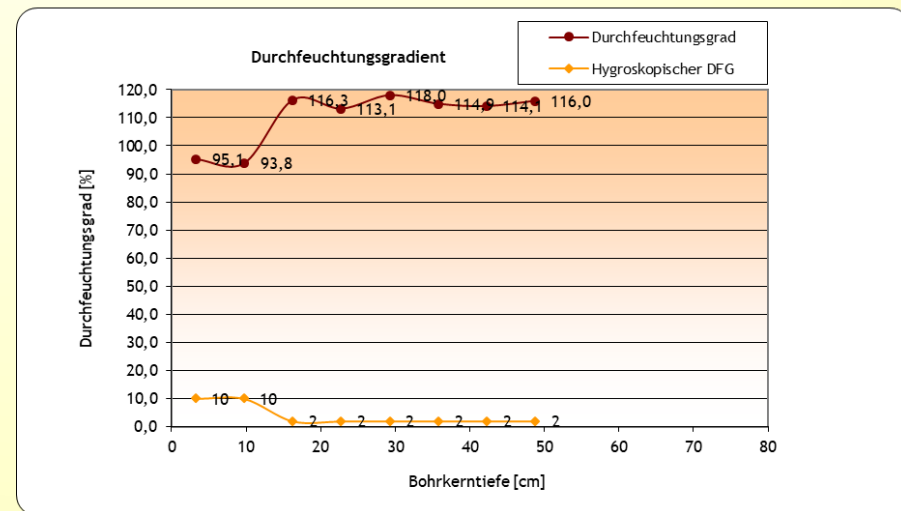
Wand nach  
2-3 Jahren

- Kelleraußenwand zum Nachbargrundstück → keine Aufgrabung möglich
- 2009 Voruntersuchung (über 100 % Durchfeuchtungsgrad über gesamte Wanddicke (ca. 85 cm) und hohe Salzbelastung besonders in Putzresten)
- 2010 Flächenabdichtung mit Polyacrylatgel → sofortiger Farbanstrich (Hausmeister)
- 2012 Überprüfung der Abtrocknung → Feuchteflecken und Farbablösungen

### 3.3 Praxisbeispiel 3: Geschäftsgebäude, Berlin-Mitte



Feuchtegradient der Wand vor der Sanierung (2009)



Feuchtegradient der Wand nach der Sanierung (2012)

- Keine nennenswerte Trocknung, lediglich Luftfeuchte von 75 % auf 60 % reduziert
- Sperrender Farbanstrich, salzhaltige Putzreste und Mauerwerksoberflächen
- Keine Lüftung, konstante Temperatur von ca. 20 °C vorher und nachher





### 3.3 Praxisbeispiel 3: Geschäftsgebäude, Berlin-Mitte



Stark durchfeuchtete Wand

#### *Fiktives Fallbeispiel: Trocknung eines Kellerraumes durch Stoßlüften*

- Kellereckraum 4 x 4 x 2,5 m
- Zwei Außenwände 2 x 4 x 2,5 = 10 m<sup>2</sup> Mauerwerksoberfläche
- Wanddicke 50 cm → 5 m<sup>3</sup> Mauerwerk
- Feuchtegehalt Ziegel 22 M.-%  
Trockenfeuchte Ziegel 2 M.-%  
= Feuchtereduzierung 20 M.-%

- 1 m<sup>3</sup> nasse Wand enthält ca. 0,2 m<sup>3</sup> Wasser, das austrocknen muss = 200 l  
Bei 5 m<sup>3</sup> Mauerwerk im Raum müssen ca. 1000 l = 1000000 g (1 Million) getrocknet werden
- Kellerluft                      80 % rel. LF, 12 °C → 10 g Wasser/m<sup>3</sup> Luft    Stoßlüftung!  
Ausgetauschte Luft    50 % rel. LF, 12 °C → 5 g Wasser/m<sup>3</sup> Luft >>> kann 5 g/m<sup>3</sup> aufnehmen
- 5 g / Lüftung → 5000 Luftwechsel → 25 Tage mit günstigen Bedingungen pro Jahr  
**200 Jahre Trocknungszeit**



### 3.3 Praxisbeispiel 3: Geschäftsgebäude, Berlin-Mitte



#### *Maßnahmen zur Verbesserung der Trocknung*

- Taupunktgesteuerte Lüftungsanlage
- Trocknungsgeräte (kurzzeitig)
- Einbau einer Heizung
- Entfernen dichter Oberflächen
- Offenporige Anstriche verwenden
- Abstand von Möbeln etc. halten

#### *Maßnahmen zur Verbesserung der Oberflächenqualität*

- Aufbringen eines Feuchteregulierungsputzes (eingefärbt oder anschl. Farbauftrag)
- Freilegen und Abschleifen oder Abstrahlen der Mauerwerksoberfläche (Fugen beachten, evtl. nachverfugen)
- Aufbringen eines Sanierputzsystems (Opferputz ?!)



# Summenformel für die Herstellung historischen Mauerwerks



+



+



=