

Neue Perspektiven für die Bestimmung des Feuchte-sorptionsverhaltens von Naturbausteinen

Franzen, C. & Griesser, U.J.***

*Institut für Mineralogie und Petrographie

**Institut für Pharmazie

Universität Ibk, Innrain 52, A – 6020 Innsbruck

ABSTRACT: The analysis of humidity sorption on natural building stone is important for assessing the material behaviour such as weathering. The correlation between water uptake of the material and relative humidity of the atmosphere is described by the sorption isotherms. Unfortunately, due to complex pore geometries in the building stones, recording of the water sorption isotherm by conservative methods may take several weeks or month. Hence, normally investigation is restricted to determination of the 'equilibrium humidity' at 80 %RH. On various natural building stones with very different pore properties we performed water sorption isotherms by conservative method as well as by a new automatic method.

Schlagwörter: Feuchte, Naturstein, Sorptionsisotherme

1 Einleitung

Die Untersuchung der Wasserdampfsorption zählt zu den Standardcharakterisierungen von Baumaterial so auch an Natursteinen. Die über das gesamte Feuchtespektrum hinweg aufgenommene Sorptions- und Desorptionsisotherme erlaubt wichtige Rückschlüsse auf die Materialeigenschaften. Wegen ihrer heterogenen Zusammensetzung und Porenraumgeometrie bereitet die Bestimmung einer vollständigen Wasserdampfsorptionsisotherme bei Natursteinen oft Schwierigkeiten. Verschiedene Natursteinsorten können bis zum Erreichen eines Gleichgewichts im Exsikkator insbesondere bei der Desorption mehrere Wochen bis Monate benötigen [4]. Daher beschränkt man sich im Normalfall auf die Bestimmung der sogenannten 'Ausgleichsfeuchte' bei 80 % rLf. [5]. An unterschiedlichen Natursteinen wurden Wassersorptionsisothermen konservativ im Exsikkator und in einem Wassersorptionsprüfschrank ermittelt.

Naturstein als Baumaterial wird in der Verwendung häufig bei historischen Gebäuden und modernen Fassaden angetroffen. Unbehandelte Natursteine sind hygroskopisch und lagern Wasser auf ihrer äußeren und inneren Oberfläche an. Die spezifische Oberfläche von Naturbausteinen variiert stark. Die Porenraum-

eigenschaften, wie Größenverteilung und Geometrie, bestimmen zu einem großen Teil die Gesteinseigenschaften, u. a. das Verwitterungsverhalten. Eine direkte Untersuchung der Poren ist nur begrenzt möglich, so dass der Porenraum über indirekte Methoden näher charakterisiert werden muss. Zur Untersuchung des Porenraums existieren eine Reihe völlig unterschiedlicher Messverfahren. Das Wassersorptionsverfahren erlaubt wegen der geringen Größe des Wassermoleküls (\varnothing H₂O-Molekül = 0.28 nm) eine Untersuchung bis in kleinste Porenbereiche. Die Untersuchungen werden unter Standardbedingungen durchgeführt. Das bedeutet, dass die untersuchte Probe nicht wie bei anderen Verfahren unter hohem Druck oder sehr tiefe Temperaturen gebracht wird. Somit wird das Material nicht verändert. Prinzipiell werden beim Wasserdampfsorptionsverfahren die natürlichen Bedingungen der Atmosphäre simuliert und das Verhalten erforscht.

2 Sorption

Festkörper stehen mit ihrer gesamten zugänglichen spezifischen Oberfläche in ständiger Wechselwirkung mit der Feuchte der Atmosphäre. Dabei kommt es zur Sorption der Wassermoleküle an der Oberfläche. Bei gegebener Luftfeuchte kommt es zu einem dynamischen Gleichgewicht zwischen Sorption und Desorption der Teilchen. Der Zusammenhang zwischen der Menge des angelagerten Wassers und der relativen Luftfeuchte wird durch die Sorptionsisotherme dargestellt. Natursteine sind hygroskopische poröse Baustoffe, daher zeigen die Sorptionsisothermen einen S-förmigen Kurvenverlauf vom Typ II der Klassifikation [2]. Abbildung 1 zeigt fünf Typen von Adsorptionsisothermen. Die sogenannte Langmuir-Isotherme von Typ I tritt auf, wenn Adsorbens und Adsorptiv nur eine geringe Wechselwirkung haben und sich ausschließlich eine monomolekulare Adsorbatschicht bildet. Die S-förmige Isotherme von Typ II tritt bei stärkerer Wechselwirkung auf wenn sich mehrere Adsorbatschichten ausbilden, wie im Fall von Wasser auf mineralischen Oberflächen. Typ III bildet sich bei abstoßenden Wechselwirkung aus. Die Typen IV und V gehen aus den ersten drei Typen hervor.

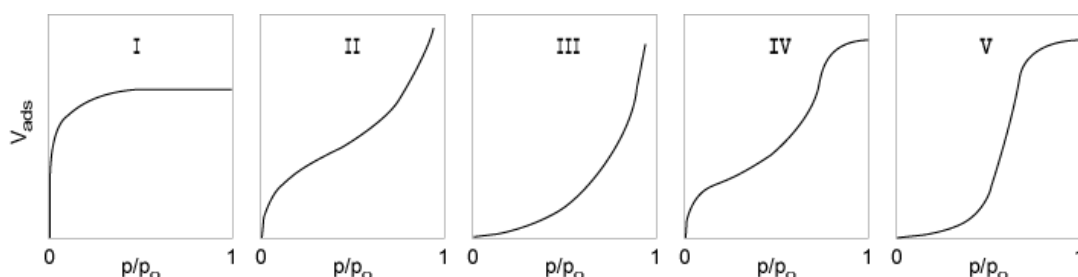


Abb. 1 Fünf charakteristische Sorptionsisothermen [2].

Natursteine zeigen häufig einen Hystereseeffekt zwischen Feuchteaufnahme (Sorption) und Feuchteabgabe (Desorption). Die Hysterese ist eine Folge verschiedener Effekte, die u.a. durch die Porenraumgeometrie hervorgerufen werden. Bei ausreichender Messgenauigkeit sind Aussagen zur Porenraumverteilung möglich.

3 Proben

Die Auswahl der Gesteine erfolgte für regional relevante Naturbausteine [1] und wurden durch sehr gut bekannte und in der Literatur beschriebene Natursteine ergänzt. Um so die Grenzen der Methoden aufzudecken wurde versucht ein möglichst großes Oberflächenspektrum von $10 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ eines hochporösen Sandsteins bis hin zu etwa $0.3 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, dichter Marmor, abzudecken. Porenraumangaben zu den untersuchten Gesteinen sind in Tab.1 zusammengestellt.

Tab. 1 Untersuchte Gesteinstypen BaS: Baumberger Sandstein, ObS: Obernkirchner Sandstein, GrS: Grödner Sandstein, BrG: Brixner Granit, BzQ: Bozner Porphy, SzM: Sterzinger Marmor.

Bezeichnung	BaS	ObS	GrS	BrG	BzQ	SzM
Typ	Sandst.	Sandst.	Sandst.	Granit	Porphy	Marmor
Porenvolumen [vol. %]	20	10	6	2	2	0.5
BET Oberfl. [m^2g^{-1}]	10	1.5	1.4	0.4	0.7	<0.3
maximale Feuchteaufnahme konservativ	2.0	0.4	0.4	0.14	0.35	0.014
Feuchteaufnahme SPS11	1.8	0.4	0.4	0.08	0.20	0.014

4 Konservative Methode

Die Wasseraufnahme und -abgabe unterschiedlicher Naturbausteine (Sandsteine, Marmore, Granit, Quarzporphyr; Tab. 1) wurden nach konservativer Methode untersucht. 'Konservative Methode' bedeutet Lagerung des Probenmaterials unter verschiedenen relativen Luftfeuchtigkeiten bei Raumtemperatur im Hygrostaten. Die Luftfeuchten wurden über gesättigten Salzlösungen im Exsikkator eingestellt. Die jeweiligen Salzlösungen sind in Tab. 2 angegeben. Um ein Erreichen des Gleichgewichts zwischen Luftfeuchte und Gesteinsprobe zu garantieren, wurden die Proben mindestens einem Monat im jeweiligen Hygrostaten gelagert. Der Versuch erstreckte sich insgesamt über mehr als zwei Jahre. In regelmäßigen Abständen wurde die Wasseraufnahme gravimetrisch ermittelt. Die Werte sind in Abb. 3 und Abb. 4 links aufgetragen und den Werten aus dem Sorptionsprüfschrank gegenüber gestellt.

Tab. 2. Aufstellung der Salze zur Einstellung der Hygrostaten.

Salz	Formel	rLf [%] bei 21°C
Natriumhydroxid	NaOH	6
Lithiumchlorid	LiCl	11
Magnesiumchlorid-Hexahydrat	MgCl ₂ ·6H ₂ O	33
Magnesiumnitrat	Mg(NO ₃) ₂	54
Natriumnitrit	NaNO ₂	75
Natriumchlorid (Halit)	NaCl	75
Kaliumchlorid (Sylvin)	KCl	85
Kaliumnitrat (Nitrokalit)	KNO ₃	93
Kaliumsulfat (Arkanit)	K ₂ SO ₄	97

5 Sorptionsprüfschrank (SPS11)

Die gleichen Proben wurden auch mit einem neu entwickelten Wasserdampf-Sorptionsprüfschrank SPS11 [3] untersucht. Dieser erlaubt die Bestimmung der Massenänderungen von 11 Proben gleichzeitig unter identischen Atmosphärenbedingungen. Die Sorptions- und Desorptionsisotherme wurde in Schritten von 10 % rel. Luftfeuchte bei 25°C gemessen. Der Bereich erstreckte sich zwischen 0 % und 95 %. Die Erkennung der Gleichgewichtsbedingung erfolgte automatisch über die Massenkonstanz bei jedem Zyklus (< 0.01 % für 40 Minuten). Nachdem alle Proben diese Gleichgewichtsbedingung erfüllen, wird automatisch die nächste Klimabedingung des vorprogrammierten Messzyklus eingestellt. Der vollständige Messzyklus (Sorptions- und Desorption) für die Proben war nach weniger als zwei Wochen beendet. Die Probenmassen lagen zwischen 8 g und 30 g.

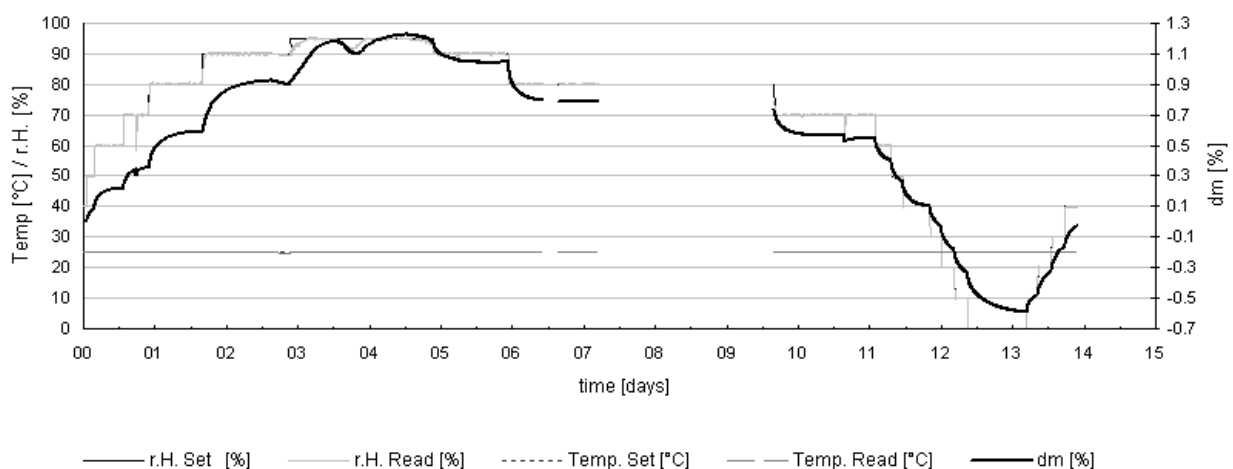


Abb. 2. Der Messzyklus der Sorptionsisotherme erfolgt in weniger als zwei Wochen; Probe: BaS.

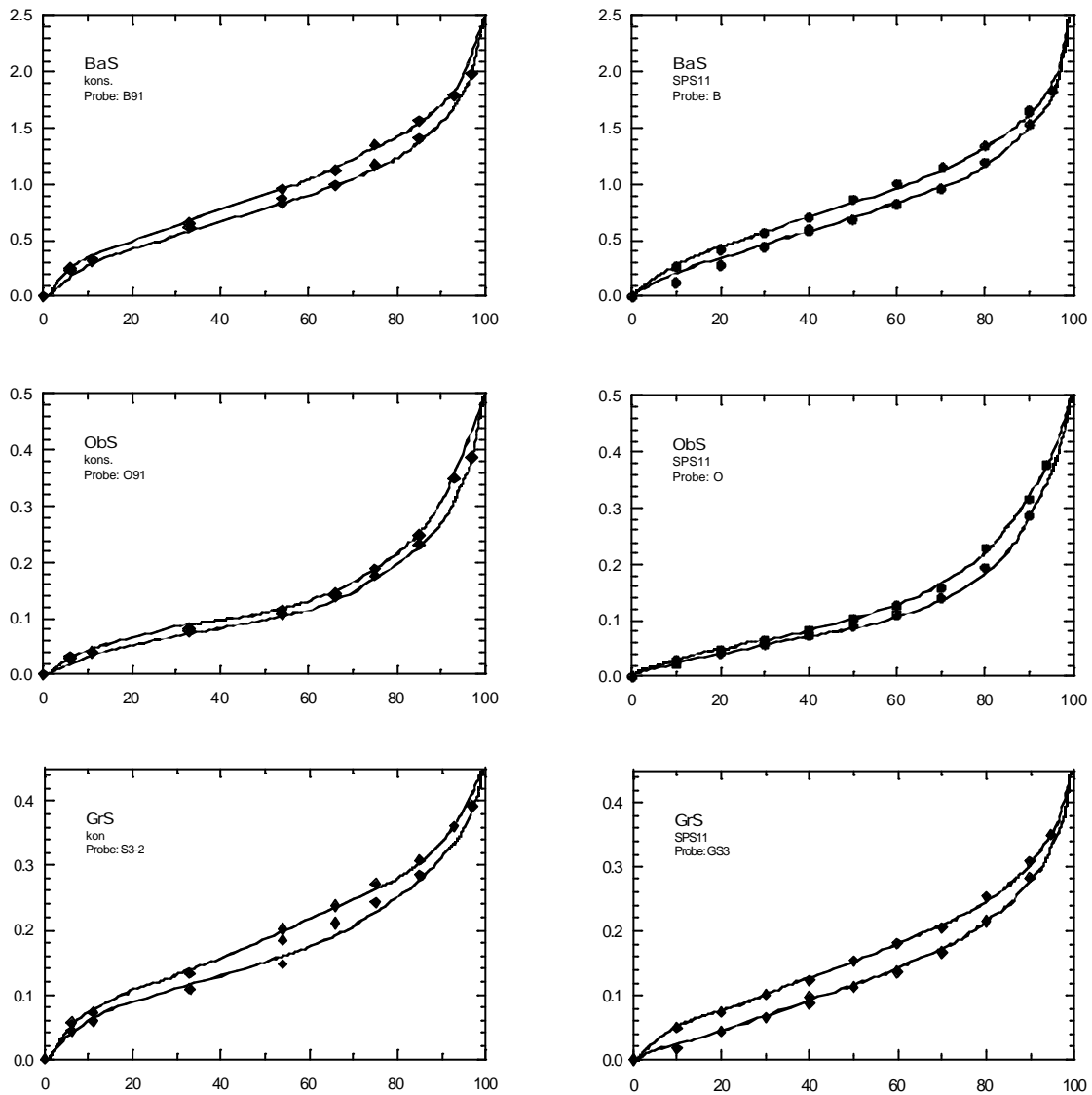


Abb. 3 Sorptionsisothermen dreier Sandsteinsorten: Baumberger, Obernkirchner und Grödner Sandstein; links: konservative Methode, rechts: Sorptionsprüfschrank; Abszisse: rLf, Ordinate: Massenänderung in Gew.%.

6 Ergebnis

Beide Untersuchungsmethoden liefern identische Ergebnisse mit gleichen Absolutwerten. Bei abnehmenden Oberflächengrößen und geringen Wasseraufnahmen zeigen sich die Vorteile der modernen automatisierten Messung unter automatisch kontrollierten Bedingungen. Bei Proben mit geringer spezifischer Oberfläche lassen sich mit der konservativen Methode nur schwer zuverlässige Ergebnisse im Bezug auf die Hystereseeffekte zwischen Sorptions- und Desorptionsisotherme ermitteln (Abb.4). So konnten bei den Marmorproben, bei nur 0.014 % Gesamtmassenänderung, kontinuierliche Isothermen mit dem automatischen Gerät erhalten werden.

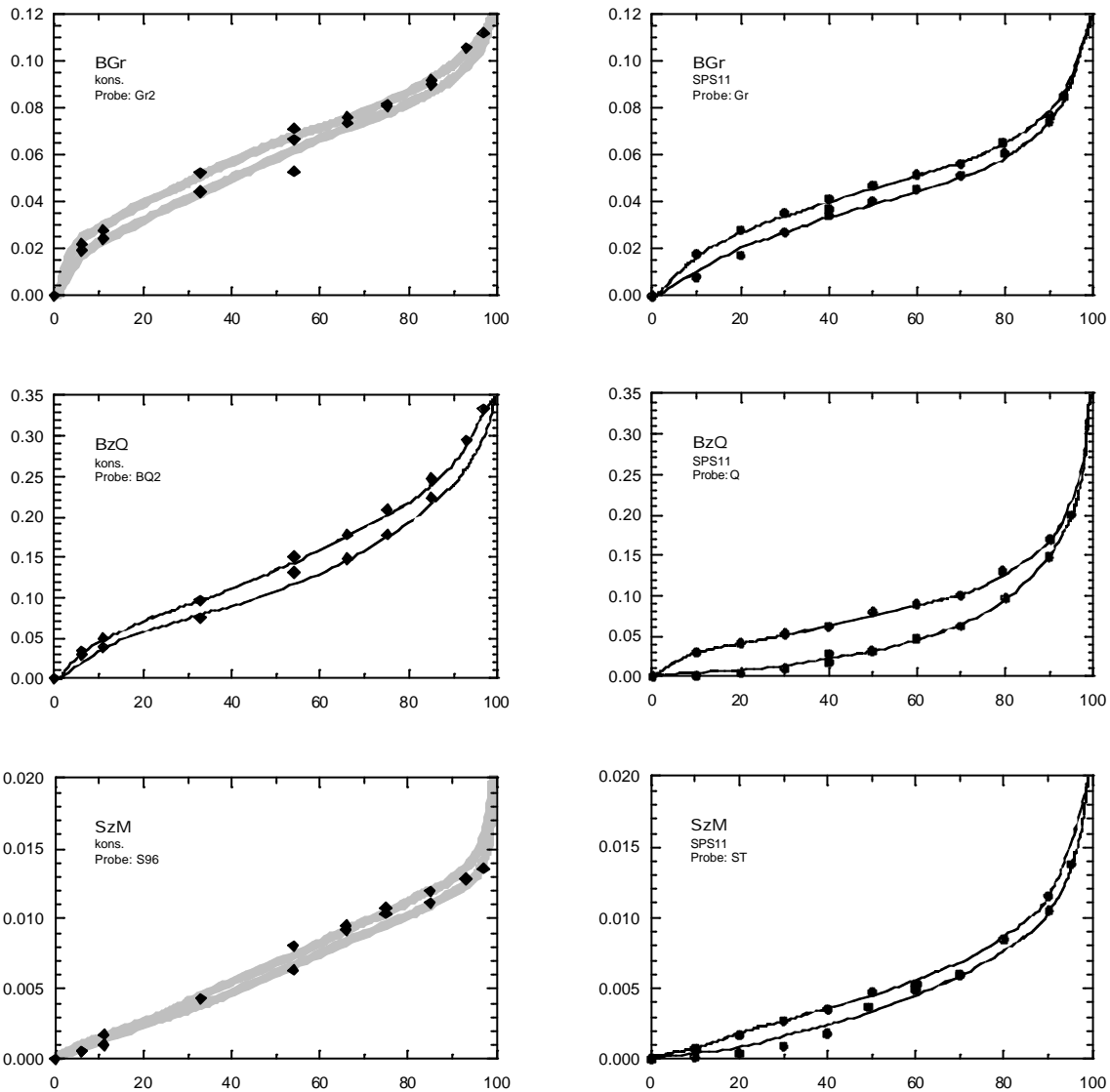


Abb. 4 Sorptionsisothermen von Granit, Porphyr und Marmor; links: konservative Methode, rechts: Sorptionsprüfschrank; Abszisse: r_{Lf} , Ordinate: Massenänderung in Gew. %.

Die Ergebnisse zeigen, dass mit dem Sorptionsprüfschrank Naturbausteine mit geringstem Aufwand bei einem sehr hohem Probendurchsatz reproduzierbar untersucht werden können. Es können auch Porenbereiche untersucht werden, die bisher nur sehr schwer erfasst werden konnten. Das eröffnet neue Möglichkeiten in der Charakterisierung des Feuchtesorptionsverhaltens von Natursteinen und anderen Baumaterialien.

Literatur

- [1] Franzen, C., Mirwald, P.W. (2001), Historical Building Materials in South Tyrol/Italy - a mineralogical study under aspects of monument conservation. Mitt. Österr. Miner. Ges. 146, S. 87-88.
- [2] Gregg, S. J., Sing, K. S. W. (1982), Adsorption, Surface Area and Porosity, 303 S., Academic Press, London.
- [3] Griesser, U.J. & Dillenz, J. (2002), Neuartiges, vollautomatisches Feuchtesorptionsprüfgerät mit hohem Probendurchsatz (dieser Band).
- [4] Meng, B. (1993), Charakterisierung der Porenstruktur im Hinblick auf die Interpretation von Feuchtetransportvorgängen. Inst. f. Bauforschung, 280 S., RWTH, Aachen.
- [5] DIN 52620 04/1991, Wärmeschutztechnische Prüfungen: Bestimmung des Bezugsfeuchtegehalts von Baustoffen, Ausgleichsfeuchtegehalt bei 23°C und 80 % relative Luftfeuchte.

Kontakt: Christoph Franzen
Inst. für Mineralogie und Petrographie
Innrain 52, A-6020 Innsbruck
tel.: 0043(0)512 507 5511
christoph.franzen@uibk.ac.at