

# Feuchtespeicherfunktion und Feuchtetransport verschiedener Lehme und Lehmabbaustoffe

Eine wesentliche Eigenschaft von Lehm besteht in der Fähigkeit, abhängig von Veränderungen in den Umgebungsbedingungen Feuchte schnell aufzunehmen oder abzugeben. Diese Eigenschaft kann durch Wasserdampfsorptionsisothermen (auch Feuchtespeicherfunktionen genannt) beschrieben werden.

Die Verwendung relativ grober Zuschläge bedeutet, dass größere Mengen an Material für eine repräsentative Probe benötigt werden. Da das Material sehr porös ist, sind mehrere Wochen Versuchsdauer bis zum Erreichen der Gewichtskonstanz zur normgerechten Ermittlung der Feuchtespeicherfunktion notwendig.

Für Eigenschaften des Lehms als Baustoff ist die Tonkomponente von besonderer Bedeutung. Durch ihre Kristallstruktur können Tonminerale vergleichsweise große Mengen an Wasser adsorbieren und reversibel in die Struktur einbauen. Es kann daher vermutet werden, dass hinsichtlich der Feuchtespeicherfunktion deutlich geringere Probenmengen zu sinnvollen Ergebnissen führen können. Moderne Messverfahren wie Dynamic Vapour Sorption (DVS) benötigen wegen geringer Probenmengen nur wenige Tage bis zum Erreichen der Gewichtskonstanz. Es soll daher die Nutzung der DVS zur schnelleren Ermittlung der Sorptionsisotherme von Lehmabbaustoffen getestet werden.

## Experimentelles

Für die Untersuchungen wurden Lehme aus Brüggen/Nordrhein-Westfalen (LB) und Lommatzsch/Sachsen (LL) sowie ein Ton aus der Nähe von Crinitz/Brandenburg (TB) verwendet. Holzhackschnitzel (HHS) und Schaumglasbruch (SGB) wurden als Zuschläge eingesetzt. Die ausgewählten Rohstoffe unterscheiden sich in Herkunft, Farbe, Gehalt und Art der Tonminerale. Sie enthalten unterschiedliche Anteile an Schluff, Sand und Kies und haben dadurch jeweils andere Eigenschaften.

Die Rohstoffe wiesen ein breites Kornband auf, weshalb die Korngrößenverteilung (KGV) nicht nur durch ein Messverfahren zu ermitteln war. Nach DIN 18123 (Entwurf) wird eine kombinierte Methode für die Bestimmung der Kornfraktion vorgeschlagen. Für die Ermittlung der KGV wurden von jedem Rohstoff drei Proben à 500 g entnommen. Der Feinanteil jeder Probe wurde durch ein Normsieb mit einer Maschenweite von 125 µm mittels Nasssiebung vom Grobgut getrennt und mit Hilfe der

Lasergranulometrie analysiert. Die Siebanalyse diente zur Analyse des Grobgutes.

Die chemische Zusammensetzung wurde mit der energiedispersiven Röntgenspektrometrie (EDX) und die Phasenanalyse mit Hilfe der Röntgenpulverdiffraktometrie ermittelt.

Die Bestimmung der Sorptionsisothermen erfolgte einerseits in Anlehnung an DIN EN ISO 12571 und andererseits mittels DVS. Für das Exsikkator-Verfahren wurden, in acht Exsikkatoren mit Hilfe verschiedener Salzlösungen, unterschiedliche Luftfeuchten eingestellt (9 %, 23 %, 33 %, 43 %, 59 %, 75 %, 85 % und 95 % rel. Luftfeuchte). Die Temperatur wurde während der Versuchsdauer bei  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  gehalten.

Für die Herstellung der Probekörper sollte ein industrieübliches Verfahren angewandt werden. Daher wurden Probekörper mit Hilfe einer Strangpresse hergestellt. Zum Einsatz kam ein zylindrisches Mundstück mit 33 mm Durchmesser. Die Probenhöhe betrug  $(15 \pm 2)$  mm.

Die DVS ist ein dynamisches Messverfahren zur Bestimmung der Wasserdampfsorption in Abhängigkeit von Luftfeuchte und Temperatur. Für die DVS-Messungen kam Stickstoff als Trägergas zum Einsatz. Die relativen Feuchten wurden in den Schritten 0 %, 11 %, 22 %, 33 %, 44 %, 54 %, 65 %, 76 %, 87 % und 98 % verändert, während die Temperatur bei  $25^\circ\text{C}$  gehalten wurde. Bei diesem Verfahren wurden 10–50 mg Probe benötigt.

## Ergebnisse und Diskussion

Nach der KGV unterscheiden sich die Rohstoffe deutlich, dies zeigt Abbildung 1. Der Ton Buchheide besitzt den höchsten Anteil in der Tonfraktion mit mehr als 30%. In beiden Lehmen beträgt er im Vergleich wenig mehr als 10%. Die Lehme unterscheiden sich untereinander durch verschiedene Grobanteile.

Auffällige Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung bestehen im Aluminium- und Eisengehalt (vgl. Tab. 1).

Die Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung zeigen sich auch im Phasenbestand, insbesondere bei den Tonmineralen (im wesentlichen Illit und Kaolinit). Der Ton Buchheide weist überwiegend Kaolinit auf, der in den Lehmen nicht nachgewie-

## Moisture storage capacity and moisture transport of various clays and earth-building materials

An important characteristic of clay is its ability to absorb or dissipate moisture quickly, independently of changes in the environmental conditions. This characteristic can be referred to as water vapour sorption isotherms (also moisture storage function). The use of relatively coarse additives means that larger amounts of material are needed for a representative test. Since the material is very porous, several weeks are needed before weight stability is achieved to establish the moisture storage capacity in accordance with standards.

The components of clay are of particular importance for its properties as a building material. Due to their crystalline structure clay minerals can adsorb comparatively large amounts of water and reversibly incorporate it within its structure. It can therefore be assumed, with regard to moisture storage capacity, that considerably smaller sample amounts are needed for meaningful results. Modern measurement procedures such as dynamic vapour sorption (DVS) only require a few days until weight stability is reached, due to the smaller test sample amounts. The use of DVS should therefore be tested to enable faster determination of the sorption isotherms of clay building materials.

### Experiment details

For the investigations clay samples were used from Brüggem/North-Rhine-Westphalia (LB) and Lommatzsch/Saxony (LL) as well as samples from the neighbourhood of Crinitz/Brandenburg (TB). Wood chippings (HHS) and foam glass fragments (SGB) were used as additives. The selected raw materials vary according to source, colour, content and type of clay mineral. They contain different proportions of silt, sand and gravel and therefore they each have different characteristics.

The raw materials displayed a wide range of granular sizes, which is why the distribution of grain sizes (KGV) could not be determined by just a single measurement procedure. According to DIN 18123 (draft) a combined method for ascertaining the grain fraction is recommended. To establish the KGV three 500g samples were taken from each raw material. The proportion of fine particles in each sample was established by wet sieving the coarse material with a standard sieve with a mesh size of 125  $\mu\text{m}$  and analysed with the aid of laser granulometry. Sieve analysis sufficed for analysing the course material.

The chemical composition was established with energy dispersive radiograph spectrometry (EDX) and the phase analysis with the help of X-ray powder diffractometry.

Determining the sorption isotherms was achieved on the one hand by following EN ISO 12571 and on the other using DVS. For the desiccation procedure different air humidities (9%, 23%, 33%, 43%, 59%, 75%, 85% and 95% rel. humidity) were set in eight desiccators with the help of different salt solutions. The temperature was maintained at  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  for the duration of the test.

For preparing the test pieces a standard industrial procedure was to be used. They were therefore made with an extruder. A cylindrical 33 mm diam. nozzle was used. The height of the samples was  $15 \pm 2$  mm.

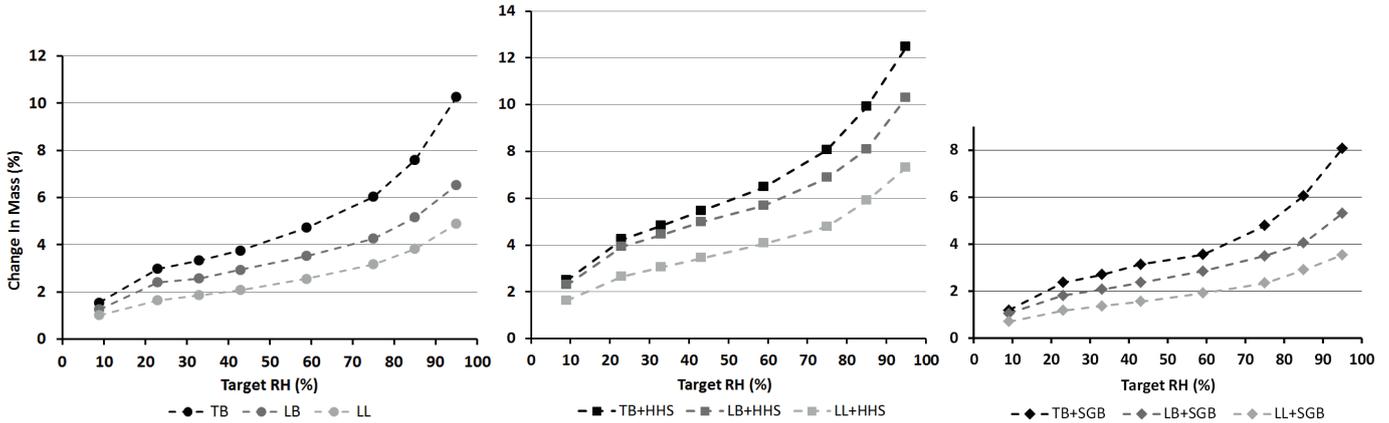
DVS is a dynamic measuring procedure for ascertaining the water vapour sorption according to humidity and temperature. For the DVS measurements the carrier gas was nitrogen. The relative humidity was varied in 0%, 11%, 22%, 33%, 44%, 54%, 65%, 76%, 87% und 98% steps, while the temperature was maintained at  $25^\circ\text{C}$ . This procedure required 10–50 mg samples.

### Results and discussion

Depending on their grain size, the raw materials varied substantially, which can be seen in Fig. 1. The Buchheide clay had the highest proportion in the grading range with more than 30%. In both the earth samples this was little more than 10%. The earth samples differed from one another due to their varying proportions of coarse grain.

There are noticeable differences in the chemical composition with regard to their aluminium and iron content (see Table 1).

The differences in the chemical composition can also be seen in the phase content, particularly with the clay minerals (mainly illite and kaolinite). The Buchheide clay contains predominantly Kaolinit, which could not be detected in the earths. The overall clay mineral content is also more than twice as high the Buchheide clay as in the earths.



Probe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
TB	65,9	24,8	4,39	0,81	0,63	1,82	1,66	<0,1	<0,1	<0,1
LB	66,8	17,3	9,78	1,29	0,92	2,72	0,86	0,36	<0,1	<0,1
LL	71,4	14,9	6,23	1,52	0,89	3,23	1,19	0,57	<0,1	<0,1

Tabelle 1: Ergebnisse der chemischen Analyse (TB -Ton Buchheide, LB-Lehm Brügggen, LL-Lehm Lommatzsch; Werte in Gew.-%)

sen werden konnte. Auch ist der Gesamtgehalt an Tonmineralen im Ton Buchheide mehr als doppelt so hoch wie in den Lehmen. Abbildung 2 (a-c) zeigt, dass bei allen Adsorptionsmessungen der Ton Buchheide (mit und ohne Zuschläge) in allen Messpunkten die höchste Wasseraufnahme besitzt. Die Proben mit den Holzhackschnitzeln weisen die höchsten Feuchten auf, da ihr Eigenfeuchtegehalt bereits recht hoch ist. Bei 55 % r.Lf. haben die Holzhackschnitzel eine Feuchte von etwa 7 Gew.-% und bei 85 % r.Lf. sind es bereits fast 13 Gew.-%. Der Schaumglasbruch als anorganischer, dichter Zuschlag besitzt demgegenüber bei beiden relativen Luftfeuchten keine Eigenfeuchte.

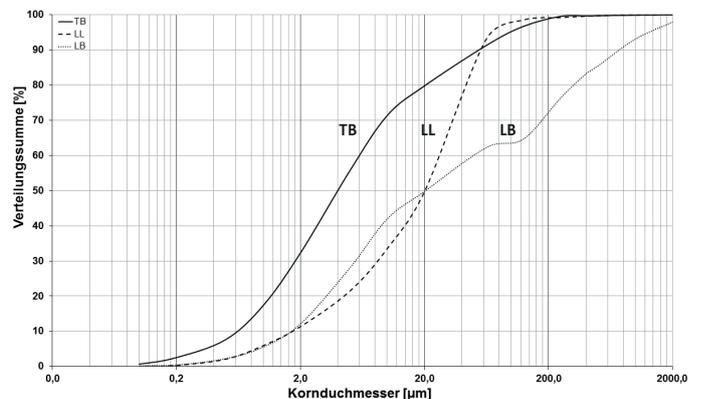
Aus den Sorptionsmessungen ergeben sich für beide Verfahren ähnliche Kurvenverläufe. Auffallend ist, dass bei allen Messungen die Kurven aus den Exsikkatorversuchen oberhalb der DVS-Kurven liegen. Erklären lässt sich das eventuell mit den Unterschieden in den Messverfahren selbst. Der Startpunkt der Messung z.B. unterscheidet sich deutlich. Während beim Exsikkatorverfahren der Messbeginn bei Umgebungfeuchte lag, wurden die Proben in der DVS vor dem Start der Messpunktaufnahme bei 0% r.Lf. getrocknet. Die Kurven der Exsikkatormessung wurden mit den später ermittelten Restfeuchten korrigiert. Abbildung 3 zeigt die Sorptionsisotherme aus DVS und Exsikkatorversuchen für den Lehm Brügggen (Abb. 3a) und den Ton Buchheide (Abb. 3b), jeweils mit Holzhackschnitzel als Zuschlag.

Aus den Versuchen wurde deutlich, dass die DVS- und die Exsikkatordaten in erster Näherung linear korrelieren. Dies zeigt, dass beide Verfahren grundsätzlich gleiche Ergebnisse liefern. Für alle Proben ergaben sich ähnliche Kurvenverläufe. In Abbildung 4 ist der Zusammenhang am Beispiel der Proben ohne Zuschlag dargestellt. Es kann festgestellt werden, dass beide Mess-

verfahren für die Aufnahme von Sorptionsisothermen verwendet werden können.

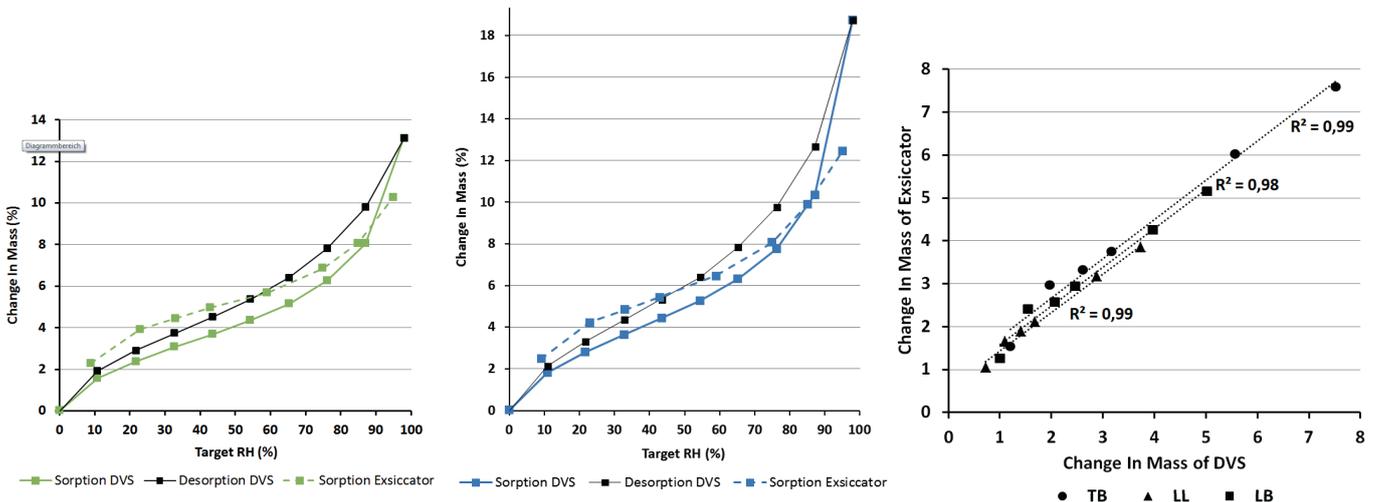
Es konnte damit gezeigt werden, dass mit Hilfe der DVS innerhalb weniger Tage sowohl die Adsorption als auch die Desorption aufgenommen werden kann und vergleichbare Ergebnisse liefert. Mit dem Exsikkator-Verfahren würde dies um ein vielfaches länger dauern. Zudem bietet die Software zur DVS eine breite Palette an zusätzlichen Auswertemöglichkeiten. Es kann beispielsweise recht einfach der zeitliche Verlauf der Wasserdampfsorption dargestellt werden. Somit ist die DVS-Messung eine gute Alternative, um mit geringem Aufwand gute Ergebnisse zu erhalten.

1 Korngrößenverteilung der Rohstoffe  
 1 Granular distribution of the raw material  
 (TB-Ton Buchheide, LB-Lehm Brügggen, LL-Lehm Lommatzsch)



2 Ergebnisse aus Exsikkator-Messungen für: a) Rohstoffe; b) Rohstoffe + HHS; c) Rohstoffe + SGB

2 Results of the desiccator measurements for: a) raw materials; b) raw materials + wood chippings; c) raw materials + foam glass fragments



Test	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
TB	65.9	24.8	4.39	0.81	0.63	1.82	1.66	<0.1	<0.1	<0.1
LB	66.8	17.3	9.78	1.29	0.92	2.72	0.86	0.36	<0.1	<0.1
LL	71.4	14.9	6.23	1.52	0.89	3.23	1.19	0.57	<0.1	<0.1

Table 1: Results of the chemical analysis (TB – Buchheide clay, LB- Brüggem earth, LL- Lommatzsch earth; values in weight/%)

Fig. 2 (a-c) shows that with all the adsorption measurements the Buchheide clay (with or without additives) has the highest water intake. The tests with wood chippings show the highest moisture content, because its own water content is already very high. With 55% rel. humidity the wood chippings have a humidity of about 7 weight/% and with 85% rel. hum. this has risen to almost 13 wt/%. The glass foam fragments, as an inorganic, denser additive have by comparison, at both relative humidities, no moisture of their own.

It has been possible to demonstrate here that, with the aid of DVS, both adsorption and desorption can be recorded within a few days and similar results delivered. With the desiccator procedure this would take many times longer. In addition, the DVS Software provides a broad variety of additional evaluation possibilities. It can, for example, very simply show the temporal progression of water vapour sorption. Thus DVS measurement is a good alternative, enabling good results to be achieved with minimum effort.

From the sorption measurements it was revealed that both procedures had a similar curve progression. It is noticeable that with all the measurements the curves from the desiccator tests were above the DVS curves. This can possibly be explained by the differences in the measurement procedures themselves. The starting point for the measurements, for example, differs considerably. While with the desiccator procedure measurement began at ambient humidity, the samples in the DVS tests with 0% rel. humidity had dried out before the recording of the measurement points began. The curves for the desiccator measurement and the residual moisture recorded later were corrected. Fig. 3 shows the sorption isotherms from the DVS and the desiccator tests for the Brüggem earth (Fig. 3a) and the Buchheide clay (Fig. 3b), in both cases with wood chippings as an additive.

The tests made it clear that the DVS and the desiccator data in the first approximation correlated linearly. This shows that both procedures delivered absolutely identical results. All the tests produced similar curve progressions. In Fig 4 the relationship is shown by the example of the test without additive. It can be established that both measurement procedures can be used to record the sorption isotherms.

3 Sorptionsisotherme aus Exsikkator- und DVS-Messung: a) LB+HHS; b) TB+HHS  
 3 Sorption isotherms from the desiccator and DVS measurements:  
 a) LB+ wood chippings; b) TB+ wood chippings

4 Korrelationsplot für Exsikkator- und DVS-Messungen (Werte in Gew.-%)  
 4 Correlation plot for desiccator and DVS measurements (values in weight/%)  
 TB-Ton Buchheide, LB-Lehm Brüggem, LL-Lehm Lommatzsch;