



*Dipl.-Ing. Hagen Müller
HAVER ENGINEERING GmbH
Meißen/Deutschland
www.haverboecker.com*

Hagen Müller (1978) studierte an der TU Bergakademie Freiberg Maschinenbau mit einer Spezialisierung im Bereich Aufbereitungsmaschinen sowie Spezialtiefbau- und Gewinnungsmaschinen. Im Anschluss arbeitete er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Aufbereitungsmaschinen und befasste sich dort mit der Untersuchung von Läuterprozessen. Seit 2009 ist er bei HAVER ENGINEERING Meißen GmbH im Bereich Forschung und Entwicklung tätig.

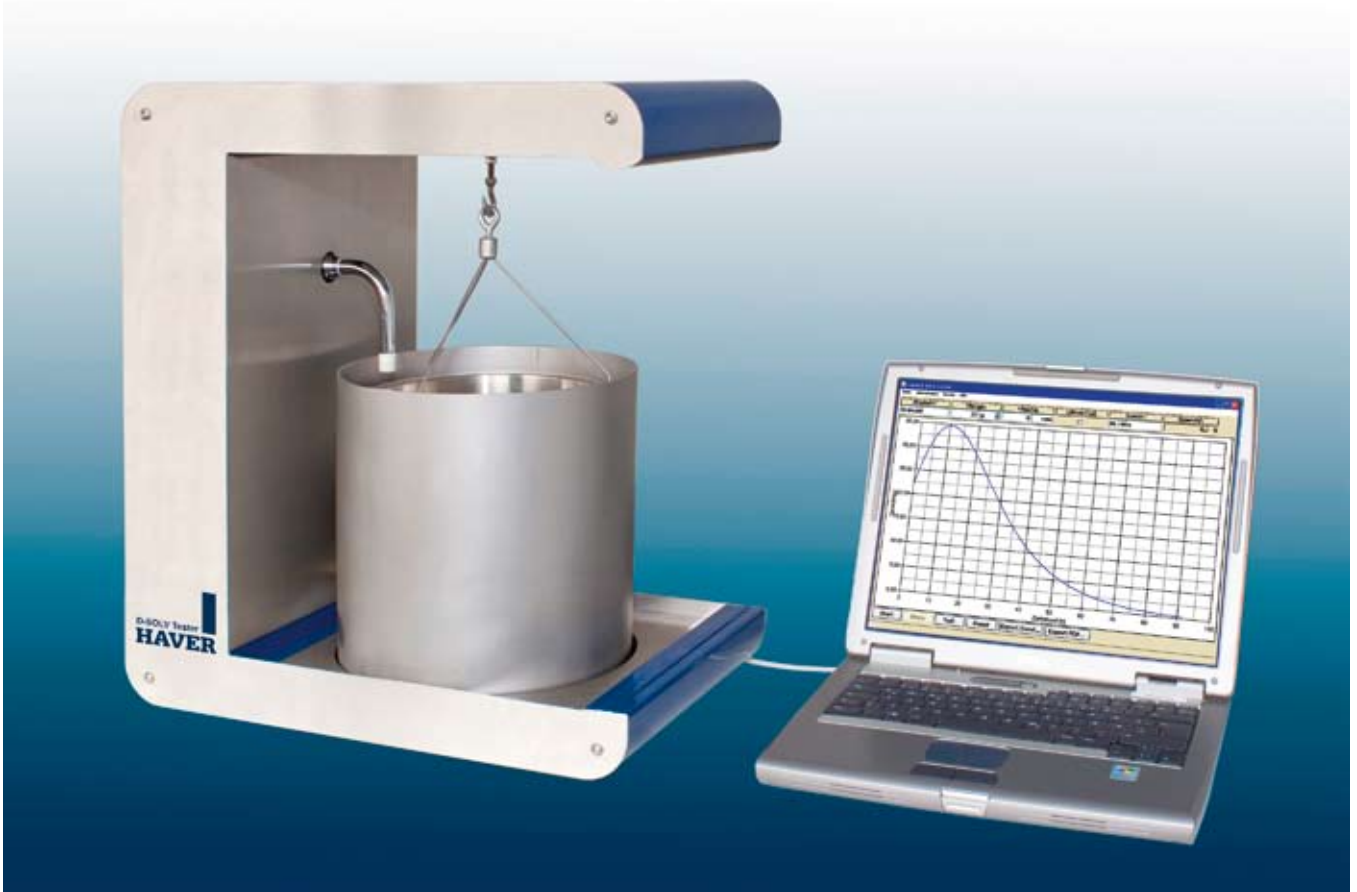
Schnell getestet • Fast testing

HAVER® D-SOLV Tester –
Testgerät zur Untersuchung des Zerfallsverhaltens

Zusammenfassung: In vielen Bereichen der Ingenieurwissenschaften ist die genaue Kenntnis der Stoff- und Materialeigenschaften sowie deren Charakterisierung und Klassifizierung Voraussetzung für die Auslegung von Maschinen und Anlagen. Die dazu notwendigen Untersuchungen sind in der Regel sehr aufwändig und kostenintensiv. Daher ist man bestrebt, notwendige Untersuchungen zu beschränken und für erste Voruntersuchungen auf möglichst einfache Testverfahren zur Materialbeurteilung zurück zu greifen. Aus diesem Grund wurde von HAVER ENGINEERING mit dem HAVER® D-SOLV Tester ein Testgerät zur Untersuchung des Zerfallsverhaltens von Schüttgütern entwickelt.

HAVER® D-SOLV Tester –
test unit for examining material disintegration

Summary: In many areas of the engineering sciences, precise knowledge of material and substance properties and their characterization and classification is a requirement for laying out and designing processing machines and equipment. The tests and studies involved there in are as a rule labor-intensive and costly. As a result much effort is expended in limiting the necessary tests and using the simplest possible test processes for the first preliminary studies. This is what compelled HAVER ENGINEERING in developing the new HAVER® D-SOLV Tester – a test instrument for examining the disintegration behavior of loose bulk materials.



HAVER® D-SOLV Tester

1 Grundlagen des Zerfallsverhaltens

Das Zerfallsverhalten von Stoffen ist insbesondere für die Geotechnik, Bodenmechanik oder Aufbereitungstechnik von Bedeutung.

So wird in der Geotechnik das Zerfallsverhalten für die Auslegung von Tunnelvortriebsmaschinen verwendet. Vor allem im wenig festen Gestein (z. B. toniges Gestein) kann zur Verbesserung der Standsicherheit die Stützung der Ortsbrust mittels Erddruckschild (EPB-Schild) notwendig werden. Bei diesem Verfahren wird das gelöste Gestein in einen Erdbrei umgewandelt, welcher spezielle Eigenschaften, wie eine weiche bis breiige Konsistenz, ein hohes Wasserbindevermögen sowie eine geringe Wasserdurchlässigkeit aufweisen sollte. Bei der Erstellung des Erdbreies durch Zugabe von Wasser, Tonsuspension und entsprechenden Konditionierungsstoffen spielt das Zerfallsverhalten eine wichtige Rolle, da viele Sedimentgesteine schon bei einfacher Wasserzugabe zum teilweisen oder vollständigen Zerfall neigen [1]. Auf dem Gebiet der Bodenmechanik wird das Zerfallsverhalten unter anderem genutzt, um Böden hinsichtlich ihrer Eignung als Dichtwände für den Deich- und Dammbau zu untersuchen [4, 5].

In der Aufbereitungstechnik ist die Kenntnis des Zerfallsverhaltens vor allem für Maschinen und Anlagen zur Nassaufbereitung interessant. So ist das Ziel von Läuterprozessen das Auflösen und Abtrennen von unerwünschten

1 Fundamentals of disintegration behavior

The disintegration behavior of materials is of great importance especially in geo-engineering, soil mechanics or mineral processing. Disintegration behavior is used in geo-engineering for laying out and designing tunnel boring machines. Especially with not so hard rock (e.g. argillaceous rock), the support of the working face for improving stability using an earth pressure balance shield may be necessary. By using this process, the loosened rock is transformed into slurry with special properties, such as a soft to mushy consistency, has a water absorption capability and little water permeability. When producing the slurry by adding water, clay suspension and corresponding conditioning substances play an important role in disintegration behavior because many sedimentary type rocks tend to disintegrate partially or completely when exposed to water [1]. In the field of soil mechanics, disintegration behavior is used to examine a soil's suitability as an impervious barrier for dikes and dam construction [4, 5].

In the mineral processing field, knowledge about disintegration behavior becomes useful for machines and equipment for wet screening. The target of the washing process is to dissolve and separate unwanted materials (contaminants/foreign material) without harming the product. As a rule these contaminants and foreign materials involve claylike, loam-type fine materials $< 63 \mu\text{m}$. The properties of the contaminants and foreign materials have a primary impact on the processing-capability of the input material and are the pri-



1 Materialbeispiele • Material examples

Bestandteilen (Schad-/Störstoffe), ohne dass es zu einer Zerstörung des Wertstoffes kommt. Bei diesen Schad-/Störstoffen handelt es sich in der Regel um tonig-lehmige Feinanteile $< 63 \mu\text{m}$. Die Eigenschaften der Schad-/Störstoffe zeichnen dabei hauptverantwortlich für die Aufbereitbarkeit des Aufgabematerials und wirken vor allem auf die Haupteinflussparameter des Läuterns – Energieeintrag und Beanspruchungsdauer. Ebenfalls kann das Testverfahren auch in anderen Bereichen der Aufbereitungstechnik genutzt werden, so z. B. zum Überprüfen des Löseverhaltens verschiedenster Pelletierprodukte. In Bild 1 werden verschiedenste Stoffe aufgezeigt, bei welchen eine Untersuchung des Zerfallsverhaltens von Interesse sein kann.

Endell entwickelte in den 1940er-Jahren ein Verfahren zur Bewertung des Zerfallsverhaltens von Tonen. Dabei wird die Beständigkeit eines Probenkörpers bei Wasserlagerung geprüft. Durch dieses Verhalten ist es möglich, den Zerfall bzw. das Quellen bindiger Tone nach Art und Geschwindigkeit zu beurteilen [3, 6].

Das Zerfallsverhalten wird dabei vorrangig durch die folgenden Parameter beeinflusst [1]:

- Korngrößenverteilung
- Mineralogische Zusammensetzung
- Chemische Zusammensetzung
- Gefüge und Mikrogefüge
- Wassergehalt
- Anteil an feindispersen organischen Substanzen



2 Aufbau HAVER® D-SOLV Tester
Construction of the HAVER® D-SOLV Tester

mary factor in washing, i.e. energy application and exposure duration. The test process can also be used for other areas of mineral processing technology, e.g. for examining dissolution behavior of various pelletized products. Fig. 1 shows various materials where an examination of the disintegration behavior could be of interest.

In the 1940s Endell developed a process for assessing the disintegration behavior of clay soils. In this test the resistance of a specimen in water immersion is tested. By observing the behavior, it is possible to evaluate the disintegration or the swelling of cohesive clays according to type and speed [3, 6].

The disintegration behavior is primarily influenced by the following parameters [1]:

- Particle size distribution
- Mineralogical composition
- Chemical composition
- Structure and microstructure
- Water content
- Amount of fine organic substances

It is also important here to search for the causes of the different dissolution times. Wiedelmann observed dissolution times of 2 to 4 hours for calcareous binding agents, and from 8 to 24 hours for clay-type marly specimens [2]. Using findings of disintegration behavior, a preliminary classification of various examined materials can be conducted. Also based on findings, one can determine whether processes with long exposure times or short exposure times are suitable.

2 Design and function of the HAVER® D-SOLV Tester

The test machine is based on the basic process developed by Weissmann which is used for assessing the disintegration resistance of clay test specimens in a water bath [4]. The process is supplemented by an additional ultrasonic unit that applies an additional loading on the material, and thus significantly shortens the needed test time.

Fig. 2 shows the construction of the HAVER® D-SOLV Tester. The main components of the test apparatus are the base station (a) and the container (b).

The base station contains the measurement system and supplies the HAVER® D-SOLV Tester with the needed liquid

Hierin sind ebenfalls die Ursachen unterschiedlicher Lösezeiten zu suchen. So beobachtete Wiedelmann für kalte Bindemittel Lösezeiten von 2 bis 4 Stunden, für tonig-mergelige Proben dagegen von 8 bis 24 Stunden [2]. Anhand des Zerfallsverhaltens kann also auf einfachem Wege eine erste Klassifikation der untersuchten Stoffe vorgenommen werden. Ebenso kann man aufgrund der Ergebnisse darüber befinden, ob Verfahren mit langen Beanspruchungszeiten oder eher kurzen Beanspruchungszeiten geeignet sind.

2 Aufbau und Funktionsweise des HAVER® D-SOLV Testers

Das Testgerät basiert auf dem von Weißmann entwickelten Grundverfahren zur Beurteilung der Zerfallsbeständigkeit von Tonprobenkörpern in einem Wasserbad [4]. Erweitert wurde das Verfahren durch eine zusätzliche Ultraschalleinheit, durch welche eine zusätzliche Materialbeanspruchung erfolgt und somit die notwendige Versuchsdauer verkürzt werden kann.

In **Bild 2** ist der Aufbau des HAVER® D-SOLV Testers dargestellt. Hauptbestandteile des Testgerätes sind die Basisstation (a) sowie der Behälter (b).

Die Basisstation dient zur Aufnahme der Messtechnik und zur Versorgung des HAVER® D-SOLV Testers mit den notwendigen Medien. Im Kopf der Basisstation, oberhalb des Behälters, befindet sich eine Wägezelle (max. 20 N; 0,05 % Genauigkeit) zur kontinuierlichen Messung des Probekörpergewichts. Darüber hinaus ist die Basisstation mit einem ½“ Wasseranschluss zum Befüllen des Behälters ausgestattet. Der Einlaufhahn kann zur leichteren Handhabung und zur Entnahme des Behälter seitlich weggeklappt werden.

Zur Aufnahme der Probekörper kommt ein Standardanalysensieb (D = 200 mm) zum Einsatz. Somit ist eine individuelle Anpassung der Maschenweite an die jeweiligen Bedürfnisse jederzeit möglich. Der Siebboden wird über einen speziellen Aufnahmering unter der Wägezelle befestigt und taucht vollständig in das Wasserbad des Behälters ein. Der Flüssigkeitsspiegel im Behälter ist dabei so einzustellen, dass ein vollständiges Eintauchen von Siebboden und Probekörper möglich ist.

Der 9,5 l fassende Behälter besteht aus Edelstahl und ist ebenfalls für die Nutzung wässriger Lösungen geeignet. Durch die Neigung des Behälterbodens um 10° wird eine einfache und restlose Entleerung sichergestellt, da das ausströmende Wasser ebenfalls gröbere Rückstände vom Behälterboden spült.

Optional kann der Behälter mit einer Ultraschalleinheit ausgestattet werden. Die Ultraschallgeber arbeiten mit einer Frequenz von 25 kHz und erzeugen Schwingungen, die sich in Form von Longitudinalwellen ausbreiten. Aus den dadurch resultierenden Druckschwankungen infolge der periodischen Verdichtung und Entspannung des Mediums entstehen Kavitationsblasen. Durch die Unterschreitung des Dampfdrucks während der Entspannungsphase und infolge des äußeren Drucks implodieren die Kavitationsblasen. Die

media. In the head of the base station, above the container, there's a load cell (max. 20 N; 0.05% accuracy) for continuously measuring the test specimen weight. The base station is also equipped with a ½ inch water adaptor for filling the container. The intake tap can be folded to the side to allow easy handling and removal of the container.

A standard analysis sieve (D = 200 mm) is used for receiving the test specimen. This makes it easy to match up the mesh opening size to the requirements at hand at any time. The screening sieve is mounted under load cell using a special receiving ring and is then fully submerged into the water bath of the container. The liquid level in the container is adjusted so that a full submersion of the screen sieve and the specimen is assured.

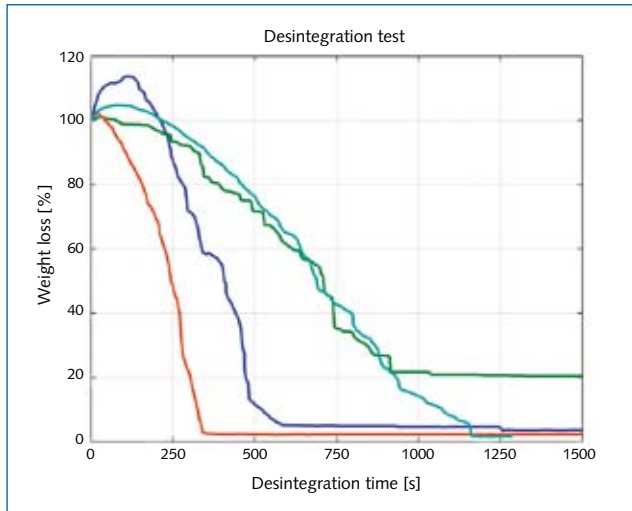
The 9.5 liter capacity container consists of stainless steel and is suitable for use with aqueous solutions. Because the bottom of the container is sloped 10°, it is very easy to completely empty out while the discharged water acts to flush out material from the bottom of the container.

As an option the container can be equipped with an ultrasonic unit. The ultrasonic generator works with a frequency of 25 kHz and produces vibrations that propagate as longitudinal waves. The resulting pressure fluctuations from the periodic compaction and expansion of the medium lead to cavitation bubbles. Because pressure drops below the vapor pressure during the relaxation phase, and due to the external pressure, the cavitation bubbles implode. The resulting currents lead to high shearing forces which result in local pressure and temperature increases, which in turn contribute to accelerated disintegration.

At the start of measurement, the test specimen is placed on the screen sieve which is submerged in the water bath (**Fig. 3**). Depending on the open pore volume and the initial water content, the water permeates through the specimen body. A reduction and dissolution of the cohesive forces then ensues. The cohesive forces are then replaced by the much weaker adhesion forces until there's a complete loss of binding force and the specimen body collapses. Using the load cell, the weight loss is automatically recorded and stored



3 Tonagglomerat während des Zerfallstests
Clay agglomerate during a disintegration test



4 Zerfallskurven verschiedener Tonagglomerate
Desintegration curves for various clay agglomerates

dabei auftretenden Strömungen verursachen hohe Scherkräfte und es entstehen lokale Druck- und Temperaturerhöhungen, welche zu einer Reduzierung der Zerfallszeit beitragen.

Zum Beginn der Messung wird der Probekörper auf den im Wasserbad befindlichen Siebboden platziert (Bild 3). In Abhängigkeit des freien Porenraums und Anfangswassergehalts dringt Wasser in den Probekörper ein. Dabei kommt es zu einer Abnahme und Auflösung der Kohäsionskräfte. Ersetzt werden sie durch die wesentlich geringeren Adhäsionskräfte bis es schließlich zu einem vollständigen Verlust der Bindungskräfte kommt und der Probekörper zerfällt. Mithilfe der Wägezelle wird während der Versuche automatisch der Gewichtsverlust protokolliert und gespeichert. Diese Daten können anschließend mithilfe einer Tabellenkalkulationssoftware weiter verarbeitet werden. In Bild 4 sind beispielhaft Zerfallskurven unterschiedlicher Proben dargestellt.

3 Fazit

Mit dem HAVER® D-Solv Tester wurde ein neues Messverfahren für das Zerfallsverhalten von Stoffen in Wasser bzw. wässrigen Lösungen entwickelt. Dadurch lassen sich auf einfache und schnelle Weise verschiedene Stoffe hinsichtlich ihrer Zerfalleigenschaften klassifizieren. Durch die integrierte Ultraschalleinheit kann eine zusätzliche Materialbeanspruchung erfolgen, welche zu einer Reduzierung der notwendigen Zerfallszeit beiträgt. Die Auswertesoftware erlaubt einen Vergleich verschiedener Zerfallskurven durch die Weiterverarbeitung der Messwerte in den gängigen Tabellenkalkulationen.

during the course of the test. Using a table-calculation software, these data can be processed further. Fig. 4 shows some example disintegration curves for various specimens.

3 Conclusion

The HAVER® D-SOLV Tester is the development of a new measurement process for the disintegration behavior of materials in water or aqueous solutions. It allows quick and easy classification of various materials with respect to disintegration properties. Using the integrated ultrasonic unit, an additional material loading is achieved, and thus reduces disintegration time. The evaluation software processes the measured values in tabular calculations and allows a comparison of various material disintegration curves.

Literatur/Literature

- [1] Wittke, W.; Tegelkamp, M.; Kiehl, J.: Zerfall von Tonsteinen als Voraussetzung für die Verbreitung beim Einsatz von EPB-Schilden, Geotechnik, 2003, S.262-268
[Wittke, W.; Tegelkamp, M.; Kiehl, J.: Disintegration of clay stone as a prerequisite for slurrification in the use of EPB shields, Geotechnik, 2003, p. 262-268]
- [2] Wiedelmann, K.; Meinecke, E.: Die Aufbereitung der phosphorhaltigen Brauneisenerze der Grube Lengede-Broistedt; Erzaufbereitungsanlagen in Westdeutschland, Springer Verlag 1955, S. 233-241
[Wiedelmann, K.; Meinecke, E.: The processing of phosphorous-containing brown iron ore of the Lengede-Broistedt mine; Ore processing facilities in West Germany, Springer Verlag 1955, p. 233-241]
- [3] Endell, K.: Die Quellfähigkeit der Tone im Baugrund und ihre Bautechnische Bedeutung, Bautechnik 1941, Heft 19, S. 201-209
[Endell, K.: Swell capability of clays in the construction sub-bases and its technical significance, Construction Technology 1941, Vol. 19, p. 201-209]
- [4] Weißmann, R.: Die Widerstandsfähigkeit von Seedeichbinnenböschungen gegenüber ablaufenden Wasser, Dissertation, Heft 30, Institut für Grundbau und Bodenmechanik, Universität Essen, 2002
[Weißmann, R.: The resistance capability of sea dike embankments against run-off water, Dissertation, Volume 30, Institute for Sub-base Construction and Soil Mechanics, University of Essen, 2002]
- [5] Weißmann, R.; Richwien, W.: Ein Bewertungsverfahren für Klei im Deichbau, HANSA-Schiffahrt-Schiffbau-Hafen, 140. Jahrgang, 2003, Nr.7, S.71-75
[Weißmann, R.; Richwien, W.: An Evaluation Process for Klei in Dike Building, HANSA-Schiffahrt-Schiffbau-Hafen, 140. Volume, 2003, No.7, p.71-75]
- [6] Bundesanstalt für Wasserbau: Richtlinien für die Prüfung von mineralischen Weichdichtungen im Verkehrswegebau, Nr. 2006/370/D, Ausgabe 2006
[Federal Ministry for Water Works: Directives for Testing of Mineral Resilient Jointing in Traffic Roads, No. 2006/370/D, Issue August 2006].