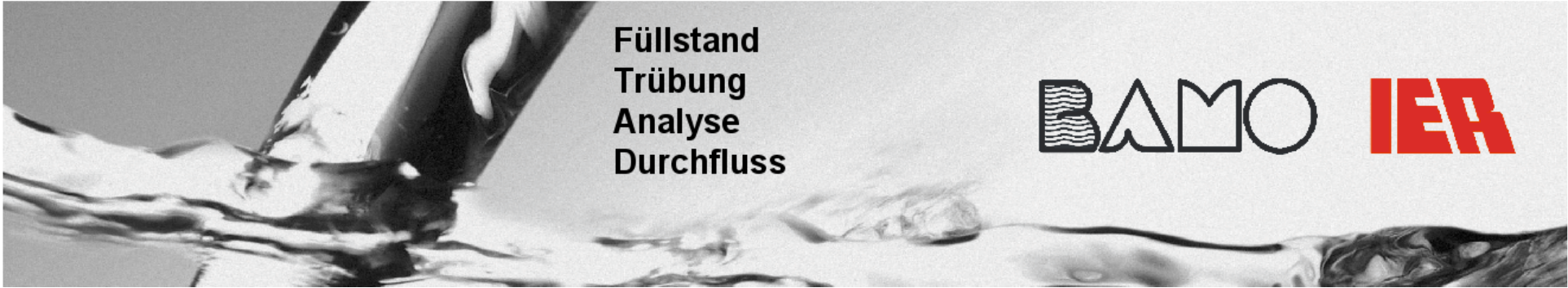
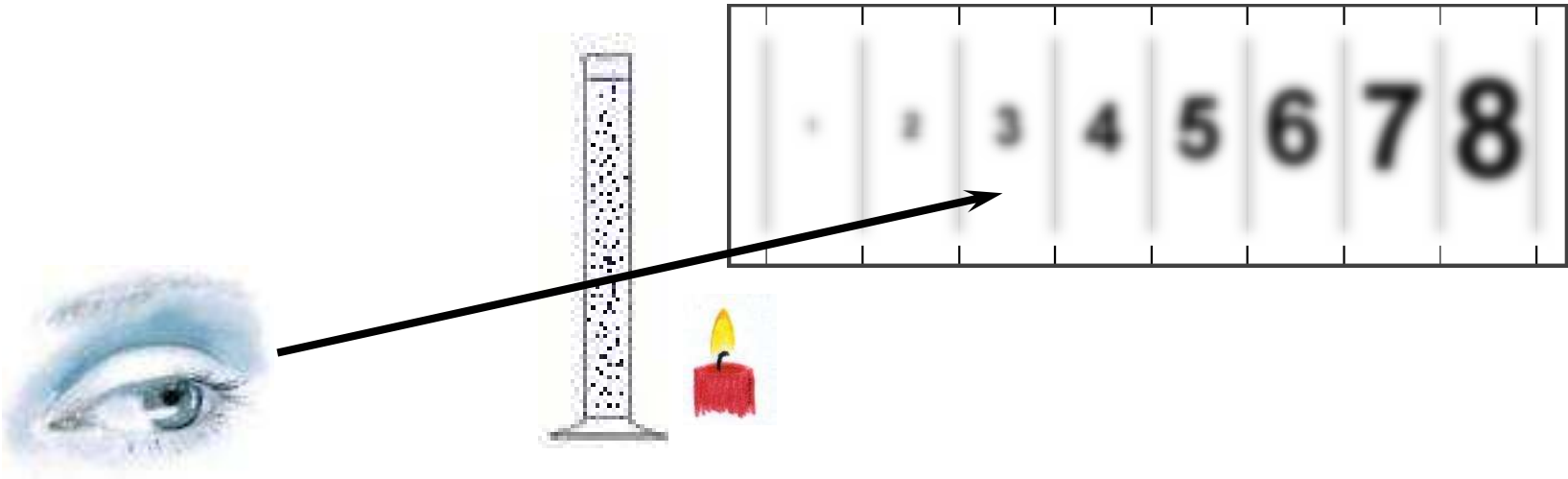


Grundlagen TRÜBUNGSMESSUNG



Trübungsmessung Grundlagen 01





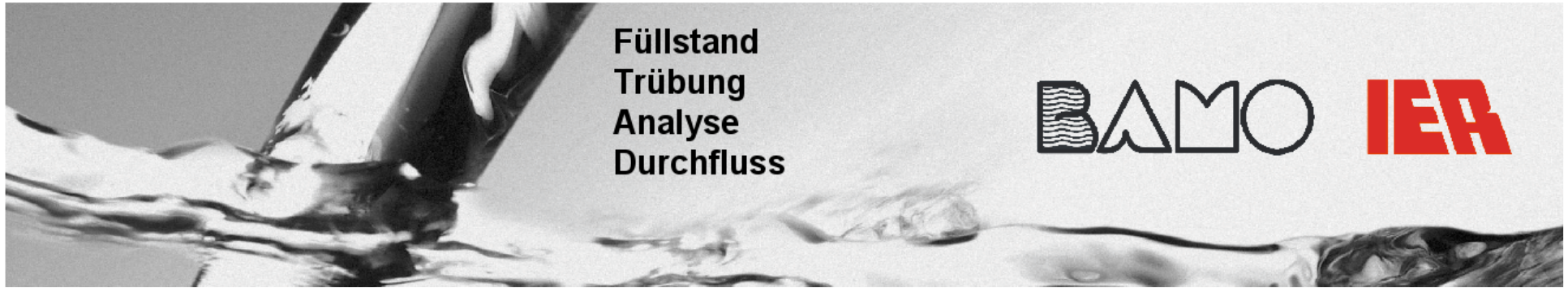
Trübungsmessung Grundlagen 02

Trübung ist eine alltägliche Erscheinung. Wir beschreiben sie mit Attributen wie: schlecht durchsichtig, Kontrast vermindern, seitlich leuchtend, farbgebend usw. Verantwortlich für diese Effekte ist das optische Phänomen der Lichtstreuung. Die schönsten Beispiele von Streulicht sind das Blau des Himmels und das Rot des Sonnenuntergangs.

Trübung wird nicht durch Farbe (gelöst) verursacht, sondern hängt mit dem Verlust der Transparenz zusammen, der durch Schwebstoffe und/oder Kolloiden hervorgerufen wird. Ist eine Flüssigkeit klar, existieren keine Schwebstoffe und es kommt zu keiner Streuung.

Trübung ist die Bezeichnung für eine optische Erscheinung, hervorgerufen durch die Streuung des Lichtes an suspendierten (ungelösten) Partikeln, die in einer Flüssigkeit vorhanden sind.

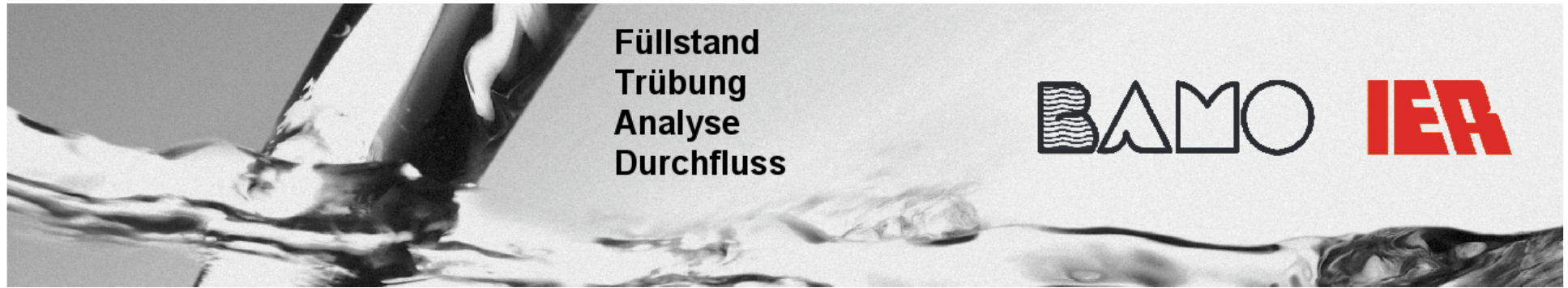
Trifft ein Lichtstrahl auf einen Partikel, so wird ein Teil des Lichtes reflektiert, ein Teil absorbiert. Je nach Partikelform und Oberflächenbeschaffenheit wird das Licht mit unterschiedlicher Intensität in alle Richtungen gestreut.



Trübungsmessung Grundlagen 03

In einem optisch homogenen Medium (Brechungsindex und Absorption konstant) bewegt sich das Licht geradlinig fort. Streng genommen ist dies nur im Vakuum der Fall. **Jede Änderung der optischen Eigenschaften durch ein Hindernis lenkt den Lichtstrahl von seiner Bahn ab.** Diesen physikalischen Prozess nennt man Streuung von Licht an Teilchen. Lichtstreuung ist die Ursache für das Phänomen Trübung.





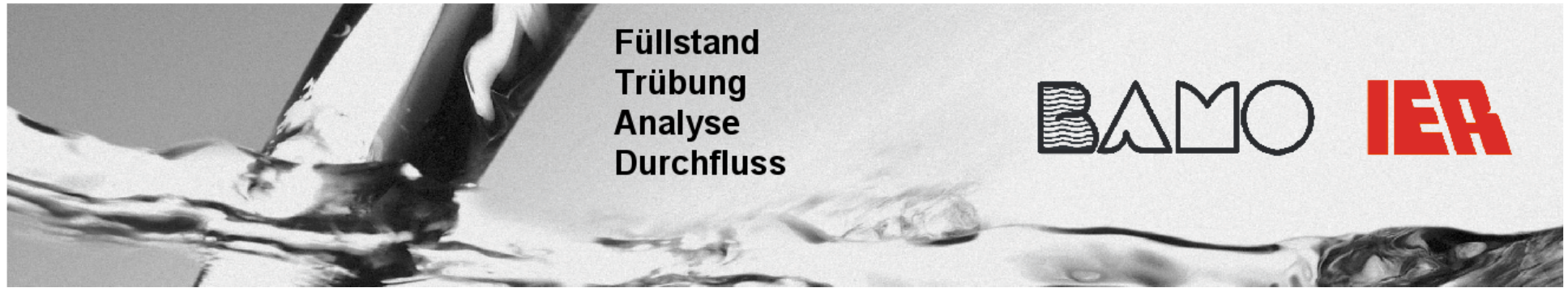
Trübungsmessung Grundlagen 04

Die Lichtstreuung beschränkt sich jedoch nicht auf die von Auge oder im Mikroskop sichtbaren Teilchen. **Selbst in reiner Luft oder reinem Wasser wird das Licht an den Molekülen gestreut.** Diese Molekularstreuung ist zwar extrem klein, aber nicht vernachlässigbar: das Blau des Himmels beispielsweise ist eine Folge der Streuung des Sonnenlichts an den Molekülen der Luft.

Die Prozesse, welche sich bei der Streuung abspielen, sind erstens die Beugung und zweitens die Anregung von Strahlung. Beugung beruht auf der Wellennatur des Lichts: passiert eine Welle ein Hindernis in unmittelbarer Nähe, so wird sie von ihrer Richtung abgelenkt. Der Ablenkwinkel ist vom Verhältnis aus Wellenlänge und Größe des Hindernisses abhängig. Anregung von Strahlung beruht darauf, dass die Atome angeregt werden, das eingestrahlte Licht wieder abzustrahlen. Je nach Art und Beschaffenheit des Partikels wird dieses Licht gemäß den Gesetzen der Lichtbrechung, der Reflexion oder der Dipolstrahlung in verschiedene Richtungen emittiert.

Auf Grund der Molekularstreuung gibt es keine Trübung = 0.

Trübungswerte unter 0.0016 sind optisch nicht messbar



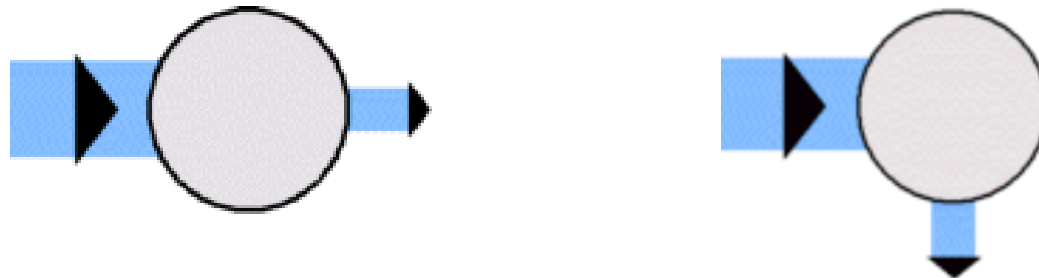
Trübungsmessung Grundlagen 05

Mit dem Trübungswert wird das qualitative Phänomen der Trübung quantitativ erfasst. **Das Ziel der Trübungsmessung ist es, Aussagen über den Gehalt an streuenden Partikeln zu erhalten** (Feststoffkonzentration).

Dies kann durch zwei grundsätzlich verschiedene Messmethoden erreicht werden:

- die Bestimmung des Lichtverlusts des transmittierten Strahls (Streukoeffizient) und
- die Messung der Intensität des seitlichen Streulichts.

Der Streukoeffizient entspricht der Gesamtheit des Streulichts, das dem einfallenden Strahl entzogen wurde, während die Streuintensität angibt, wie viel Streulicht unter einem bestimmten Winkel abgelenkt wird.





Trübungsmessung Grundlagen 06

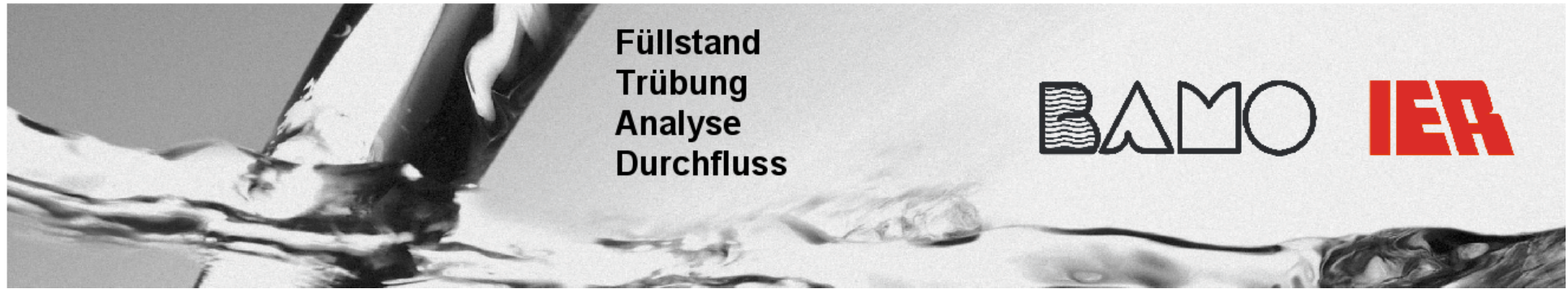
Absorptionsmessungen (Durchlichtmessungen) arbeiten auf die gleiche Weise wie Laborphotometer. Es wird also ein gebündelter Lichtstrahl durch das Prozessmedium geschickt. Einziger Unterschied besteht darin, dass im Prozessmaßstab keine Wellenlänge ausgewählt werden kann. Die Wellenlängen oder Bandbreiten sind festgelegt.

Streulichtmessungen haben mehrere Konfigurations- und Anwendungsmöglichkeiten. Es gibt bezüglich Prozessstrübung vier Haupttypen von Streulichtphotometern, die für die Bewertung der Trübung im Flüssigmedium benutzt werden:

Rückstreugeräte besitzen einen breiten Anwendungsbereich, sind aber in der Auswerteeinheit verhältnismäßig kompliziert, weil diese den niedrigen Teil der Streulichtintensität verwenden.

Seitwärts Streumethoden werden gewöhnlich für die Bewertung der Produktklarheit verwendet, um eine einwandfreie Filtration zu gewährleisten. Die Mehrheit der Trübungsmessgeräte misst heutzutage in einem 90° Winkel. Diese Methode ist in den verschiedensten Industrien weit verbreitet.

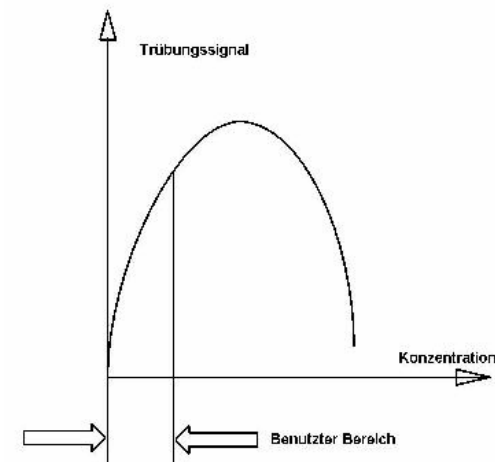
Vorwärts Streuwinkelsysteme werden bevorzugt benutzt, um einen Trennungs- oder Filtrationsprozess effektiv zu überwachen oder ungewöhnliche Trübungserscheinungen zu detektieren. Sie weisen eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Teilchengröße auf. Messergebnisse der Vorwärts Streuung korrelieren sehr gut zur aktuellen Partikelkonzentration. Eine Quantifizierung der Trübung ist daher möglich.



Trübungsmessung Grundlagen 07

Im weiteren Verlauf wird es sich, da es für die meisten „Standardprozesse“ verwendet wird, bei Streulichtmessung immer um die 90°-Streulichtmessung handeln.

Bei Streulichtmessungen kommt es ab einer bestimmten Feststoffkonzentration zu einem Umkehrpunkt im Messergebnis. Der Grund hierfür ist das Phänomen der Mehrfachstreuung: bei kleinen Konzentrationen kann sich das gestreute Licht jedes einzelnen Teilchens frei fortsetzen (Einfachstreuung); bei höheren Konzentrationen hingegen schirmen einerseits die der Lichtquelle näher liegenden Partikel das einfallende Licht ab, und andererseits kann sich das Streulicht nicht mehr frei ausbreiten. Somit nimmt die Streuintensität nicht mehr proportional zur Konzentration zu. Praktisch wird jedoch die Streuintensitätsmessung dank elektronischer Linearisierung für höhere Messbereiche (bis zu 2000 FNU) angewandt.



Typisches Sondensignal bei Streulichtsonden



Trübungsmessung Grundlagen 08

Wellenlänge der Lichtquelle:

Dreidimensionale Feststoffe zeigen ein Absorptionsvermögen bei nahezu allen Frequenzen. **Bei Wellenlängen im Infrarot oder im Nahinfrarot (NIR) können sowohl Feststoffe als auch gelöste Bestandteile, die Trübung verursachen, von der sichtbaren Farbe unterschieden werden. Die Bandbreite liegt außerhalb des roten Lichtes im Bereich von 700 - 1100 nm und wird nach Sir William Frederick Herschel als „Herschel-Bereich“ bezeichnet. Diese Bandbreite ist eindeutig, weil dieser Bereich geradezu für alle gelösten Bestandteile geeignet ist, Licht dieser Frequenzen zu absorbieren.**

Die Abschwächung der NIR-Transmission ist dann ein Maß für die Feststoffkonzentration. Der Anteil der Lichttransmission kann anschließend gegen die Konzentration aufgetragen werden. Allerdings ist die Beziehung nicht linear. Daher wird das Absorptionsvermögen als negativer dekadischer Logarithmus der Lichttransmission definiert. Diese Beziehung ist linear und wird bezeichnet als Lambert-Beer'sches Gesetz .



Trübungsmessung Grundlagen 09

Einheiten der Trübungsmessung

- FTU:** in USA gebräuchliches, von der EPA (Environmental Protection Agency) als Standard festgelegte Einheit. Hier ist kein Messwinkel vorgeschrieben, jedoch bestehen EPA und ASTM auf einem 90°-Winkel (→ NTU). Weißlicht-Messung.
- NTU:** 90°-Streulicht-Messung, EPA-based, Weißlicht-Messung, Werte ähnlich FNU und FTU, aber nicht direkt vergleichbar.
- FNU:** in ISO 7027 vorgeschriebene Einheit für die Messung der Trübung unter 90°-Streulicht bei Wellenlänge 860 nm *)
- FAU:** In ISO 7027 vorgeschriebene Einheit für die Messung der Trübung unter 180° Absorptionsmessung bei Wellenlänge 860 nm *)
- TEF:** alte deutsche Einheit, jetzt aufgegangen in FNU / FAU
- EBC:** Trübungseinheit der europäischen Bierbrauer (1 FNU = 0,25 EBC)
- ASBC:** Trübungseinheit der US-amerikanischen Bierbrauer (1FNU = 17,5 ASBC)
- JTU:** Jackson Turbidity Unit, der Ursprung aller Einheiten für die Trübungsmessung, heute nicht mehr gebräuchlich



Trübungsmessung Grundlagen 10

Einheiten der Trübungsmessung

- *) In der ISO 7027 sind unter Punkt 6.3 und 6.4 Wellenlänge, Messwinkel, Öffnungswinkel etc. vorgeschrieben. Die in ISO 7027 unter Pkt. 1 c) und d) angegebenen Werte von 0-40 FNU (Streulicht) bzw. 40-4000 FAU (Durchlicht) sind nur Richtwerte. Wie die ISO auch schreibt, sind in Abhängigkeit vom einzelnen Geräteaufbau auch andere Messbereiche (im Streulicht wie auch im Durchlicht) realisierbar.
Formazin-Stammlösung hat 4000 FAU, dies kann auf keinen Fall mehr mit Streulicht gemessen werden.

Im allgemeinen Sprachgebrauch werden FTU, NTU und FNU gleichgesetzt und haben die gleiche Bedeutung. Da BAMO IER jedoch ISO 7027-konforme Messgeräte herstellt, sollten wir immer von FNU / FAU reden.

Oben genannte Einheiten beziehen sich auf eine gemeinsame Grundlage, damit Messergebnisse von Geräten verschiedener Hersteller (mit der gleichen Technik) vergleichbar sind.



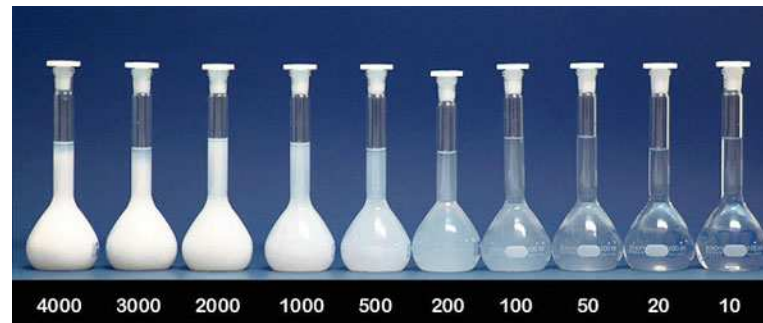
Trübungsmessung Grundlagen 11

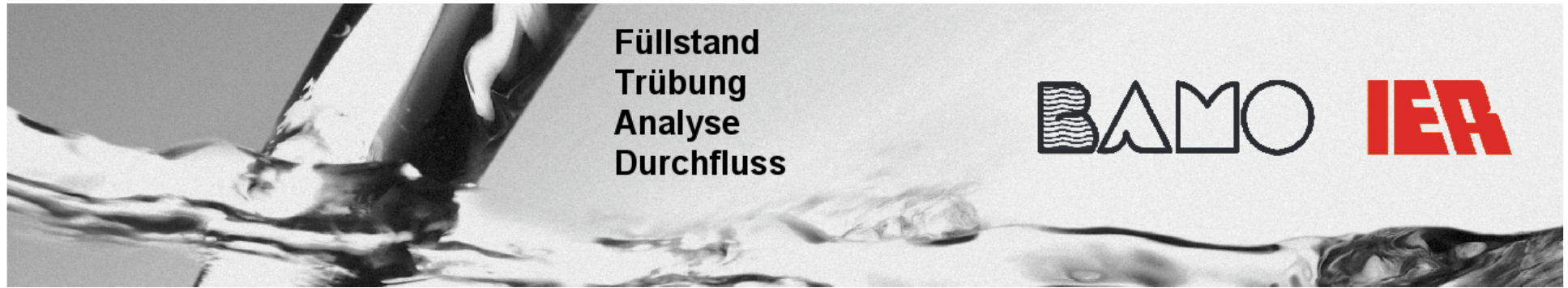
Einheiten der Trübungsmessung

Trübung kann jedoch auch in ppm oder mg/l ausgedrückt werden. Da diese Werte aber mediumspezifisch sind, ist eine optische Trübungsmessung hier immer eine reine Vergleichsmessung, die auf das spezifische Medium abgeglichen werden muss.

Dies gilt auch für Konzentrationsmessungen, die in g/l oder % TS (Trockensubstanz) oder SS (suspended solids) angegeben werden.

„Trübung“ und „Feststoffgehalt“ beschreiben das gleiche Phänomen (Lichtstreuung bzw. Absorption durch suspendierte Partikel in einer Flüssigkeit), sind aber abhängig von der jeweiligen Konzentration.





Trübungsmessung Grundlagen 12

Zusammenfassung

- Messung der Trübung auf Grund ungelöster Partikel
- Streulichtmessung (90°) und Absorptionsmessung (180 °)
- Wellenlänge 860 nm (NIR)
- Messeinheiten FNU / FAU – kalibriert mit Formazin
- Konform ISO 7027