

Definition

Die Trübung ist die optische Eigenschaft einer Flüssigkeit, das auf sie eingestrahlte Licht zu streuen und zu reflektieren. Je höher die Trübung, desto intensiver das Streulicht. Die Intensität des Streulichtes wird von verschiedenen Variablen bestimmt, wie etwa von der Wellenlänge des Ausgangslichtes, der Partikelgröße oder -form, dem Brechungsindex oder der Farbe der Messprobe.

Die in einer Flüssigkeit vorhandenen Partikel sind unterschiedlichen Ursprungs: bei Oberflächengewässern entstehen sie durch Bodenerosion, bei unterirdischen Gewässern durch Bodensickerung, zurückzuführen sind sie auch auf die Zersetzung von Mineralien oder die Präsenz organischer Materien pflanzlichen oder tierischen Ursprungs.

Die Trübung als solche ist nicht schädlich, sie beeinflusst jedoch bakteriologische und chemische Parameter, die die Wasserqualität ausmachen. So können zum Beispiel die suspendierten Partikel Metalle oder chemische Elemente (Pestizide) absorbieren, und somit die Wasserqualität beeinträchtigen.

Anwendungsbereiche

Die Trübung ist ein relevanter Parameter in der gesamten Wasserbranche: im Trinkwasserbereich, bei industriellen Abwässern, bei Wasser von Kühltürmen und Boilern, bei reinem und ultrareinem Wasser in der Elektro- und Halbleiterindustrie usw.

Aber auch in der Lebensmittelindustrie ist die Trübung im Rahmen von Qualitätskontrollen von Bedeutung, so etwa bei der Herstellung von Fruchtsaft, gashaltigen Getränken, Bier, Milch usw.

Natürliche Gewässer

Bei natürlichen Gewässern spielt die Trübung eine wichtige Rolle.

Je höher die Trübung eines Gewässers, um so weniger lassen die suspendierten Partikel Licht durch: der Prozess der Photosynthese wird dadurch gestört, die aquatische Fauna und Flora entwickelt sich nur schwierig.

Auch bei Rohgewässern ist die Trübung relevant. Starker Regen kann zum Beispiel die Trübung von unterirdischen Gewässern erhöhen. Deren Fassung kann wiederum die ordnungsgemäße Funktion von Produktions- und Versorgungseinheiten beeinträchtigen, insofern als eine hohe Trübung die Desinfektionskraft von Desinfektionsmitteln verringert.

Trinkwasser

Einfach, schnell und kostenorientiert, spielt die Trübungsmessung eine wichtige Rolle bei Nutzwasser. Sie gibt nicht nur Aufschluss über die Qualität von Trinkwasser sondern ist auch ein ausgezeichnetes Messinstrument für die Effizienz von Wasseraufbereitungsprozessen. Somit ist sie auch ausschlaggebend für die Optimierung der Filterung und Desinfektion von Trinkwasser.

Abwasser

Im Abwasserbereich gehört die Trübungsmessung zu den wichtigsten Messungen. Sie ist ein Messinstrument für die Effizienz von Filterung und Reinigung.

Messmethoden

Die Trübung kann visuell oder instrumentell bestimmt werden.

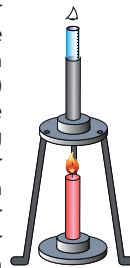
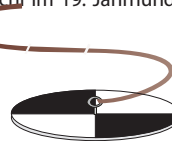
Visuelle Methoden

Allein mit blossen Auge kann in groben Zügen erkannt werden, ob eine Flüssigkeit trübe ist oder nicht.

Ein weiteres Messinstrument zur visuellen Trübungsbestimmung ist die von dem italienischen Universalgelehrten und Jesuitenpater Angelo Secchi im 19. Jahrhundert entwickelte Secchi-Scheibe. Die Secchi-Scheibe ist eine in der Regel kreisrunde Scheibe von ca. 25-50 cm Durchmesser.

Sie ist in vier Sektoren schwarz und weiss lackiert. Auf der Rückseite unter dem Mittelpunkt wird ein Gewicht befestigt. An der Oberseite wird im Mittelpunkt ein Seil mit einer Längenmarkierung befestigt. An diesem Seil wird die Scheibe in waagerechter Lage im Gewässer abgesenkt und dabei bis zu ihrem visuellen Verschwinden beobachtet. Die Tiefe des Verschwindens wird an der Maßteilung des Seiles abgelesen und als Sichttiefe oder Secchi-Tiefe registriert. Für mehr Genauigkeit wird der Vorgang wiederholt und der Mittelwert festgehalten. Heutzutage wird die Secchi-Scheibe vor allem zur Charakterisierung der Trübung und Färbung natürlicher Gewässer benutzt.

Ein weiteres Messinstrument zur visuellen Trübungsbestimmung stellte Anfang des 20. Jahrhunderts der Jackson Kerzenturbiditätsmesser dar. Mit dieser Apparatur bestehend aus einer Kerze und einem in Jackson Trübungseinheiten (JTU) graduierten Glasbehälter wurde die visuelle Beeinträchtigung der Suspension mit einer definierten Menge an gelöster Kieselsäure aus der Diatomenerde in Wasser abgeglichen. Die Jackson Kerze wurde vor allem zur Trübungsmessung von Trink- und Abwasser benutzt. Unter 25 NTU (Nephelometrische Trübungseinheiten) kann mit diesem Instrument jedoch nicht gemessen werden.



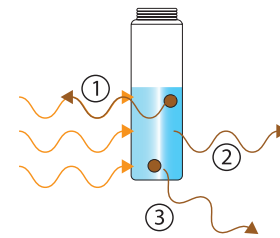
	JTU	FTU (NTU/FNU)	SiO ₂ (mg/l)
JTU	1	19	2,5
FTU (NTU/FNU)	0,053	1	0,13
SiO ₂ (mg/l)	0,4	7,5	1

Umrechnungstabelle zu den verschiedenen Trübungsmesseinheiten

Instrumentelle Methoden

Die Trübung wird definiert als Reduzierung der Transparenz einer Flüssigkeit aufgrund ungelöster Partikel. Das auf die ungelösten Partikel einfallende Licht wird gleichzeitig absorbiert, gestreut und reflektiert.

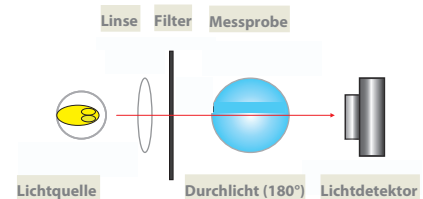
Mithilfe von Trübungsmessgeräten kann diese optische Eigenschaft der Lichtstrahlung gemessen werden: gemessen wird das Durchlicht (2), das reflektierte Licht (1) und das Streulicht (3).



Dabei unterscheidet man 3 wesentliche Messmethoden: die Durchlichtmethode, die nephelometrische Methode und die Ratio-Methode.

Die Durchlichtmethode

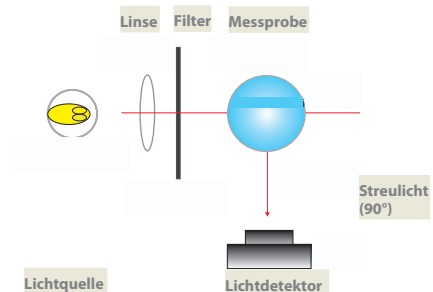
Bei der Durchlichtmethode wird die Intensität bzw. Schwächung des Durchlichts bei 180° gemessen.



Sie eignet sich vor allem bei starken Trübungen und Proben mit grossen Partikeln. Die Messergebnisse werden in FAU (Formazine Attenuation Units - ISO 7027 konform über 40 FNU) ausgedrückt.

Die nephelometrische Methode

Bei der nephelometrischen Methode wird die Intensität des Streulichts in einem Winkel von 90° gemessen.



Sie eignet sich vor allem bei niedrigen Trübungen.

Die Messergebnisse werden in FNU (Formazine Nephelometric Units - ISO 7027 konform) oder NTU (Nephelometric Turbidity Units - gemäss § 2130 der "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 19. Ausgabe, und der US EPA 180.1 Methode) ausgedrückt.

NB: 1 FNU = 1 NTU

Trübung

Die Ratio-Methode

Die Ratio-Methode gibt die Relation zwischen Durchlichtmessung und nephelometrischer Messung wieder.

Sie ist mit keinerlei internationalen Standards konform. Messgeräte, die auf dem Ratio-Messprinzip basieren, können Streulicht- und Farbbinterferenzen minimieren.

Nephelos

Diese Trübungsmesseinheit findet in der Mikrobiologie Gebrauch.
6,7 Nephelos = 1 NTU

Messnormen

Die Lichtquelle

Unsere Farbvorstellung kommt dadurch zustande, dass eine gefärbte Substanz Licht einer ganz bestimmten Wellenlänge absorbiert. So ist etwa die wahrgenommene Farbe gelb auf ein violett absorbiertes Licht einer Wellenlänge zwischen 380-435 nm, die wahrgenommene Farbe grün auf ein rot absorbiertes Licht einer Wellenlänge zwischen 670-780 nm zurückzuführen.

ISO 7027

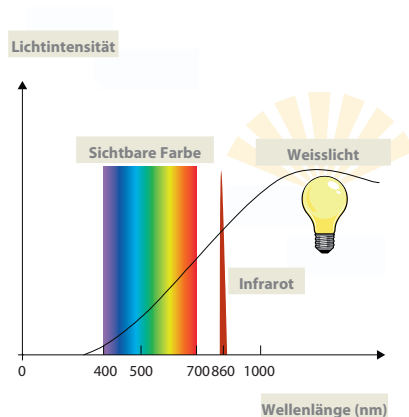
In Europa schreibt die ISO 7027-Norm eine Infrarot-Lichtquelle mit einer Wellenlänge von 860 nm vor.

Mit einer Infrarot-Lichtquelle werden Farbbinterferenzen minimiert, da bei einer Wellenlänge von 860 nm keine Absorption stattfindet. Andererseits ist die Nachweisempfindlichkeit für kleine Partikel etwas niedriger als bei Weisslicht.

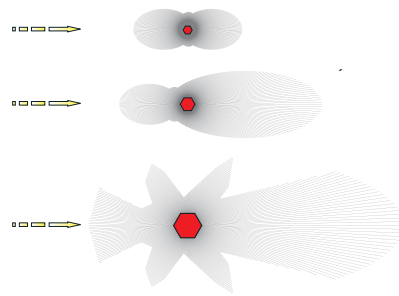
EPA

Die EPA-Norm schreibt eine Wolfram-Breitbandlichtquelle (Weisslicht) mit einer Wellenlänge von 400-600 nm vor.

Weisslicht hat eine höhere Empfindlichkeit für kleine Partikel. Andererseits können hier Farbbinterferenzen entstehen.



Die Partikel-Grösse



Die Partikel-Grösse spielt eine wichtige Rolle bei Messnorm und Messmethode, sprich bei der Wahl des Messwinkels.

Das Licht, das auf einen Partikel einfällt, wird in alle Richtungen gestreut, jedoch mit unterschiedlicher Intensität. Je grösser die Partikel, um so höher die Intensität des Durchlichts. Bei starken Trübungen eignet sich deshalb die Durchlichtmessung am besten. Bei niedrigen Trübungen hingegen empfehlen die internationalen Normen Messungen in einem Winkel von 90°, d.h. da wo die Intensität des Streulichts am geringsten ist. Dies erklärt sich dadurch, dass das Signal bei 90° am stabilsten ist.

Kalibrierung

Um genaue und reproduzierbare Messergebnisse zu gewährleisten, müssen die Trübungsmessgeräte regelmässig kalibriert werden.

Primärkalibrierlösungen

Die internationalen Messnormen ISO und EPA erkennen lediglich eine Primärkalibrierlösung an, nämlich Formazin, ein weisses Polymer bestehend aus Hydrazinsulfat und Hexamethylentetramin.

Zwar ermöglicht Formazin reproduzierbare Suspensionen von $\pm 1\%$, doch wird es gleichzeitig aufgrund seiner krebserregenden und mutagenen Eigenschaften heftig diskutiert.

Zur Herstellung der Kalibrierlösungen bedarf es einer Formazin-Lösung von 4000 FNU/NTU, genauer Verdünnungen, Temperaturkontrollen und eines durch eine 0,1 μm Membran filtriertes Verdünnungswassers.

Formazin hat einen weiteren Nachteil: die Kalibrierlösungen für Getränkewasser ($< 0,1 - 20$ FNU) sind nur eine Stunde lang stabil, und müssen daher kurzfristig und oftmals vor Ort vorbereitet werden, was nicht sehr praktisch ist und zu Fehlern führen kann.

400 FNU Kalibrierlösungen hingegen haben eine Stabilität von einem Jahr, 20-400 FNU Kalibrierlösungen eine Stabilität von einem Monat.

Sekundärkalibrierlösungen

Um den Nachteilen solcher Primärkalibrierlösungen entgegenzuwirken, werden von den Herstellern sogenannte Sekundärkalibrierlösungen angeboten.

Sie sind Hersteller- und Gerätespezifisch, d.h. sie können nicht zur Kalibrierung von Geräten eines anderen Herstellers verwendet werden.

Sie sind gleich einsatzbereit, einfach zu handhaben, nicht toxisch und bieten eine Stabilität von 2-3 Jahren.

Zwar erkennen die internationalen Messnormen ISO und *Standard Methods* lediglich die Verwendung von Formazin-Lösungen an, die EPA Messnorm jedoch genehmigt die Verwendung von AMCO EPA-1 Kalibrierlösungen sowie von Formazin-Lösungen in stabilisierter Form.

Zur Kalibrierung der Trübungsmessgeräte bietet HANNA instruments AMCO EPA-1 Kalibrierlösungen an. Alle HANNA Trübungsmessgeräte können aber auch problemlos mit Formazin-Kalibrierlösungen kalibriert werden.

Die Kalibrierung der HANNA Trübungsmessgeräte ist sehr einfach durchzuführen. Sie erfolgt automatisch über vorprogrammierte Kalibrierpunkte, je nach Modell bis zu 5 Punkten. Eine ausgezeichnete Linearität der Kalibrierkurve über den gesamten Messbereich und somit eine hohe Genauigkeit bei niedrigen, mittleren und hohen Trübungen ist dadurch gewährleistet.

Die Messküvette

Entscheidend für die Qualität von Trübungsmessungen ist auch der Zustand der Messküvette.

Der Lichtstrahl tritt durch die Messküvette hindurch. Ist diese verschmutzt, staubig, voller Fingerabdrücke oder zerkratzt, können Messungen beeinträchtigt werden. Das Glas der Messküvette sollte ausgezeichneter Qualität sein, eine bestmöglichst homogene Dicke und keinerlei Herstellungsfehler aufweisen. Die Messküvette sollte sowohl innen als auch aussen in ausgezeichnetem Zustand sein.

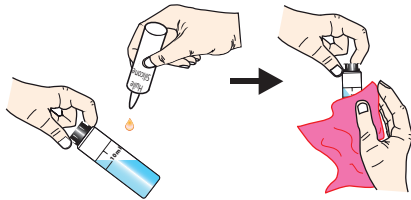
Trübung

Tipps für genaue Messungen

Für genaue Messungen sind folgende Punkte zu berücksichtigen.

Die Messküvette

Die Messküvette sollte immer in gutem Zustand sein. Sie sollte stets sauber sein und weder Fingerabdrücke noch Kratzer aufweisen. Bei Messungen in niedrigen Trübungsbereichen wird empfohlen, die Messküvette aussen mithilfe eines Softtuches mit ein wenig Silikonöl einzureiben. Dieser Vorgang ermöglicht Mikrokratzer auszuebnen.



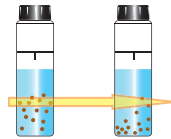
Die Messküvette verfügt über eine Markierung, die dem Nutzer anzeigt, bis wohin er die Probe zugeben darf. Es wird empfohlen bei Zugabe der Probe die Messküvette lediglich über der Markierung anzufassen.

Wichtig ist, dass die Messküvette immer gleichmässig in den Messschacht einrastet. Auch zu diesem Zweck verfügt die Messküvette über eine Markierung.

Die Messprobe

Für aussagekräftige Messergebnisse ist eine qualitative Messprobe erforderlich.

Bei Routinemessungen sollte die Probe kurz zuvor genommen werden, um eine Flockung oder Absetzung der suspendierten Partikel zu vermeiden. Wäre dies nämlich der Fall, lägen die Messergebnisse unterhalb den tatsächlichen Trübungsmesswerten, da die meisten Partikel sich nicht mehr im Lichtstrahl befinden würden.



Sollten Messungen nicht schnell durchgeführt werden können, ist die Messprobe maximal 24 Stunden kühl und abseits von Licht zu lagern. Vor der Messung ist die Temperatur der Probe dann an die Umgebungstemperatur anzugleichen.

Auch Temperaturschwankungen können Messergebnisse beeinträchtigen, insofern als sie einen Einfluss auf Viskosität und Löslichkeit der Partikel haben. Es wird deshalb empfohlen, Messungen mit Messproben mit einer Umgebungstemperatur vorzunehmen.

Luftbläschen

Die Präsenz von Luftbläschen - sei es auch in kleinster und für das Auge kaum sichtbarer Form - kann zu zu hohen Messergebnissen führen. Solche Luftbläschen wirken wie kleine Linsen auf das einfallende Licht und sind daher zu entfernen durch:

- Anlegen eines partiellen Vakuums
- Hinzufügen eines Tensids (z.B. Triton X-100)
- Verwendung eines Ultraschallbads
- Erwärmen der Messprobe

Manchmal ist es erforderlich, mehrere Verfahren gleichzeitig anzuwenden. Äusserste Sorgfalt ist dabei auf jeden Fall geboten, da all diese Verfahren die Trübung der Messprobe beeinträchtigen können.

