

Bestimmung der Trübung

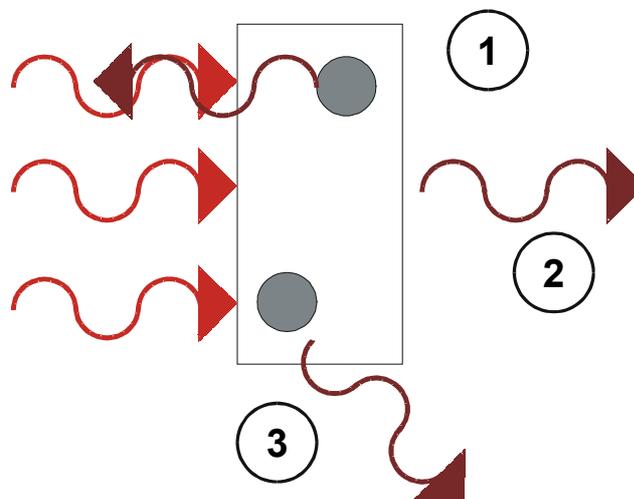
Grundlagen

Trübung ist die Verringerung der Durchsichtigkeit einer Flüssigkeit, verursacht durch die Gegenwart ungelöster Substanzen (DIN EN 27027).

Durch die ungelösten Stoffe wird eingestrahktes Licht gestreut und die Flüssigkeit verliert ihre Durchsichtigkeit. Sie erscheint milchig bzw. trübe. Ein gutes Beispiel dieses Effekts zeigt sich beim Vergleich von klarem und naturtrübem Apfelsaft.



Wenn naturtrüber Apfelsaft gefiltert wird, werden die ungelösten Fruchtbestandteile entfernt und das Filtrat ist klar und durchsichtig. Die Feststoffe bleiben im Filter zurück. Der Effekt der Trübung beruht damit eindeutig auf den ungelösten Substanzen. Das eingestrahkte Licht trifft auf ein Feststoffteilchen und wird in Abhängigkeit der Art und Weise des Auftreffens gestreut (1) + (3). Falls das Licht beim Weg durch die Flüssigkeit auf kein Teilchen trifft, findet keine Lichtstreuung statt (2).



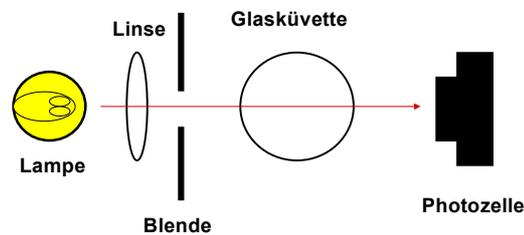
Aus diesem Bild werden außerdem die möglichen Meßprinzipien deutlich. Licht muß in die Probe gestrahlt und dessen Veränderung untersucht werden. Dazu sind zwei Möglichkeiten gegeben. Entweder man mißt die Lichtintensität des Lichts, das die Probe unverändert passieren kann (2), oder man mißt die Intensität des Streulichts (1) + (3). Im zweiten Fall wird die Lichtintensität allerdings hauptsächlich im 90° Winkel zur Einstrahlrichtung gemessen.

Meßgeräte

Damit sind zwei Meßaufbauten möglich. Man unterscheidet zwischen der Messung der durchgehenden Lichtstrahlung (Durchlichtschwächung, Transmissionsmessung) oder der Messung der im 90° Winkel gestreuten Strahlung (Nephelometrische Messung).

Messung der Durchlichtschwächung

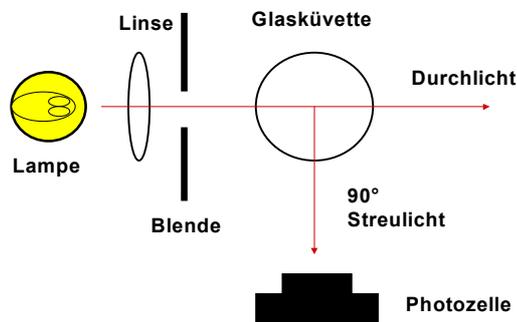
Der Meßaufbau entspricht dem eines Photometers und kann auch von Photometern, die bestimmte Voraussetzungen erfüllen, wie z.B. das PhotoLab S12, gemessen werden. Licht wird in die Probenküvette gestrahlt und eine Photozelle mißt die Lichtintensität des durchgestrahlten Lichts.



Solche Systeme eignen sich vor allem für die Messung mittlerer und hoher Trübungen. Bei geringen Trübungswerten, ist der Signalunterschied zwischen eingestrahlt und durchgehender Strahlung zu gering, um eine gute Auflösung zu erreichen.

Nephelometrische Messung

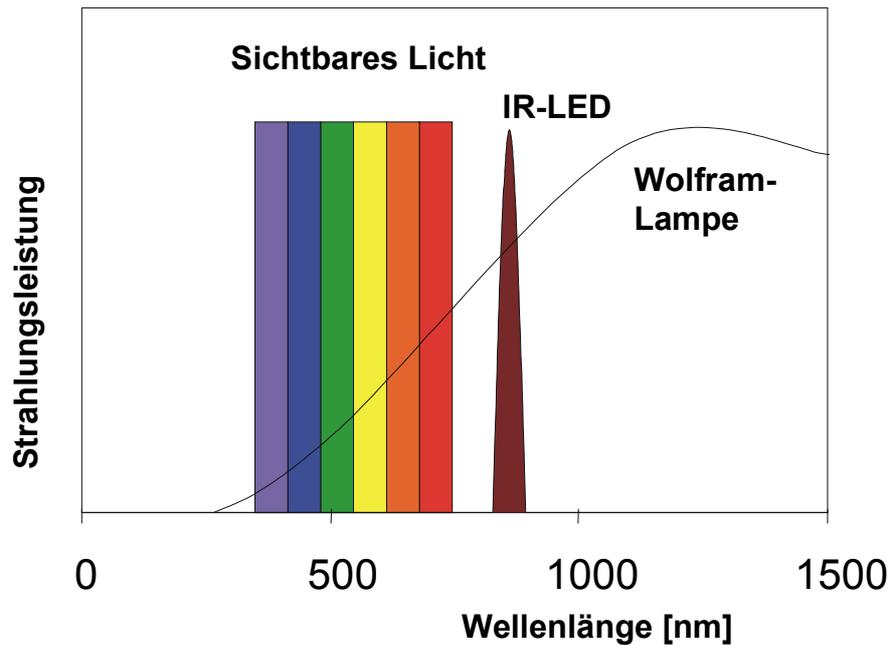
Bei diesem Trübungsmeßgerätetyp wird das Streulicht im 90° Winkel gemessen. Der Meßaufbau eignet sich idealerweise für niedrige Trübungswerte.



Die Ergebnisse beider Methoden können nicht direkt miteinander verglichen werden!

Rolle der Lichtquelle

Die Wellenlänge des sichtbaren Lichts liegt in einem Bereich von ca. 400-700 nm. Ein Stoff erscheint farbig, wenn er in der Lage ist, Licht aus diesem Wellenlängenbereich zu absorbieren. Apfelsaft erscheint gelblich, weil er Licht im Bereich von 400 nm absorbiert. Falls die Trübungsmessung nun mit Licht der Wellenlänge 400 nm durchgeführt würde, wäre das Ergebnis um den absorbierten Anteil verfälscht. Zur Minimierung bzw. Vermeidung dieses Effekts gibt es zwei Möglichkeiten.



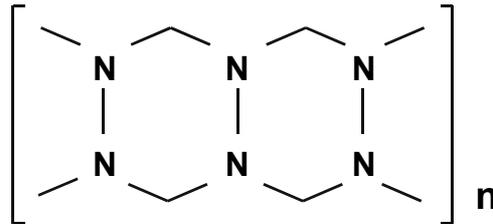
In Europa (DIN EN 27027 und ISO 7027) verwendet man Licht im Infrarotbereich von 860nm. Das hat den Vorteil, daß man außerhalb des sichtbaren Bereichs ist, und eventuelle Probenfärbungen nicht störend wirken können. Der Nachteil ist allerdings, daß kleinste Partikel in diesem Wellenlängenbereich schwächer streuen, worunter die Empfindlichkeit leidet. Als Lichtquelle werden Wolframlampen mit Monochromatoren bzw. Filtern, Dioden oder Laser verwendet.

Die zweite Möglichkeit ist die Verwendung von breitbandigem Licht aus Wolframlampen. Hierbei wird das komplette Spektrum eingestrahlt, womit Probenfärbungen die Messung in dem Bereich beeinflussen, in welchem die Färbung absorbiert. Allerdings ist dadurch nur ein Teil des eingestrahlichten Lichts betroffen. Vorteil dieser Lichtquelle ist die höhere Empfindlichkeit auch bei kleineren Partikeln. In den US amerikanischen Vorschriften der Standard Methods 2130 B und den USEPA Vorschriften ist dies die Methode der Wahl.

Kalibrierung

Primäre Standards und Maßeinheiten

Das primäre Standardmaterial für die Kalibrierung einer Trübungsmessung, sowohl im Durchlichtverfahren als auch im nephelometrischen Verfahren ist heutzutage eine wässrige Standardsuspension von Formazin (Herstellung siehe Anhang). Formazin entsteht durch eine Kondensationsreaktion von Hexamethylenetetramin und Hydrazinsulfat und stellt ein wasserunlösliches Polymer dar.



Die Maßeinheiten der Trübungsmessung sind nun abhängig vom verwendeten Kalibrierstandard und vom verwendeten Meßgerätetyp:

Die ersten Trübungsmeßgeräte waren Kerzen-Trübungsmesser, welche mit einem Kieselsäurestandard kalibriert wurden. Die Einheit war dann JTU (Jackson turbidity¹ units²). Sowohl Meßgerät als auch Standard werden heute nicht mehr verwendet.

Die Kieselsäure wich Formazin, weil dieses mit wiederholbaren Genauigkeiten von $\pm 1\%$ hergestellt werden kann. Messungen mit diesem Standard wurden in FTU (formazin turbidity units) angegeben.

Die Einführung der nephelometrischen Meßtechnik resultierte darin, daß für die Maßeinheiten Bezug auf die Meßmethode genommen wurde und die NTU (nephelometric turbidity units) wurden definiert. Diese Maßeinheit ist auch heute noch gebräuchlich und entspricht den Angaben der Standard Methods 2130 B, wobei als Primärstandard Formazin zwingend erforderlich ist. Definitionsgemäß entsprechen die Trübungseinheiten Formazin TE(F) den NTU-Maßeinheiten.

Messungen auf Basis der Euronorm EN 27027 (identisch mit der DIN-Norm und der ISO-Norm 7027) beruhen ebenfalls auf nephelometrischen Messungen mit Formazin-Kalibriersuspensionen. Die Nephelometer müssen aber eine Infrarotlichtquelle besitzen. Die entsprechende Maßeinheit ist dann FNU (formazin nephelometric units).

NTU und FNU sind damit nur für die probenunabhängigen Kalibriersuspensionen zwangsläufig wertgleich!

Trübungsmessungen im Durchlichtverfahren nach ISO-EN-DIN werden ebenfalls mit Formazinstandards kalibriert. Die entsprechende Maßeinheit dieser Durchlichtschwächung ist FAU (formazin attenuation³ units).

¹ turbidity (engl.) = Trübung

² unit (engl.) = Einheit

³ attenuation (engl.) = Dämpfung

Heutzutage sind eigentlich nur noch die Einheiten NTU, FNU und FAU sowie spezielle Einheiten, wie die EBC der Brauindustrie (Umrechnung $0.245 \text{ EBC} = 1 \text{ NTU}$) oder die Nephelos der mikrobiologischen Forschung (Umrechnung $6.7 \text{ Nephelo} = 1 \text{ NTU}$), gebräuchlich.

Beim Vergleich von Meßwerten, z.B. auch bei der Überprüfung von Online-Systemen mit Laborgeräten, ist zu beachten:

- Die Meßsysteme müssen nach dem gleichen Prinzip arbeiten. Z.B. beide nach der ISO 7027 bzw. DIN EN 27027, d.h. beide müssen eine Infrarotlichtquelle verwenden.
- Dieselben Standardsuspensionen müssen zur Kalibrierung verwendet werden
- Die Probe muß konstant und homogen sein

Vergleiche von Meßwerten sind damit grundsätzlich nicht möglich:

- Zwischen Geräten mit unterschiedlicher Lichtquelle
- Zwischen Geräten, die durchgehende Strahlung messen und Geräten die Streustrahlung messen
- Zwischen Geräten, die mit unterschiedlichen Kalibrierstandards kalibriert wurden
- Zwischen Geräten die die Ratio-Methode verwenden und solchen ohne diese Methode (hierauf wird im folgenden eingegangen)

Sekundärstandards

Bei der Herstellung von Formazinstandards ist Vorsicht geboten. Ein Reagenz, das Hydrazinsulfat, ist giftig und möglicherweise krebserzeugend.

Auch bei der Haltbarkeit der Formazinsuspensionen gibt es Unterschiede. Laut Standard Methods ist eine 4000 NTU Formazinsuspension 1 Jahr haltbar und laut DIN EN ISO ist die 400 FNU Formazinsuspension vier Wochen haltbar.

WTW bietet für Labortrübungsmeßgeräte auch Sekundärstandards an.



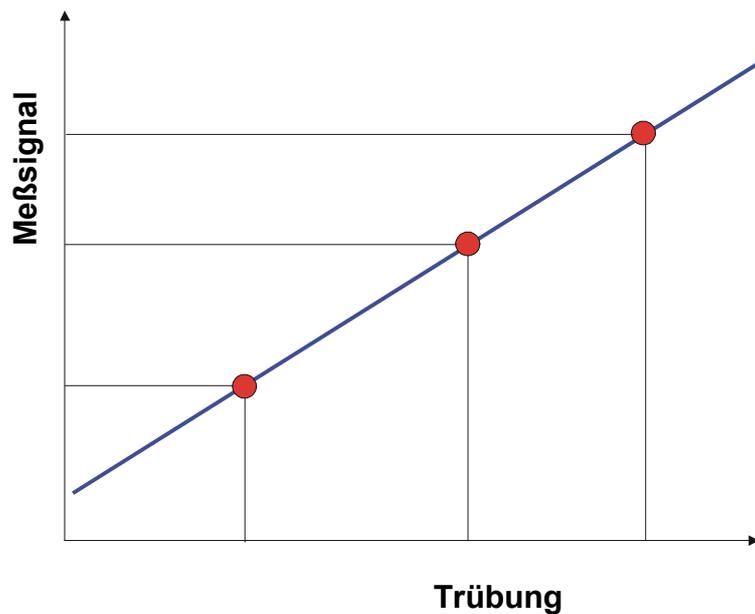
Sekundärstandards sind hersteller- und gerätespezifisch. Sie dürfen auf keinen Fall in einem anderen als dem vorgesehenen Gerät verwendet werden.

Die Sekundärstandards sind gegen Primärstandards abgeglichen, im Falle der Trübungsmessung gegen Formazinprimärstandards. Das Herstellerzertifikat gewährleistet die Rückführbarkeit auf die primären Standards.

Der Vorteil der Sekundärstandards liegt in der langen Haltbarkeit und der Einfachheit der Handhabung. Sie sind bis zu zwei Jahren haltbar und jederzeit einsatzbereit, da sie für die Labor-Trübungsmessung bereits in passenden Küvetten erhältlich sind.

Kalibrierung

Durch die Kalibrierung findet eine Zuordnung zwischen der vom Gerät meßbaren Streu- bzw. Durchlichtintensität mit einem exakt bekannten Trübungswert statt. Die Kalibrierung muß bei Labortrübungsmeßgeräten in regelmäßigen Zeitabständen, in der Regel alle 4 Wochen, erneuert werden, da sich z.B. die Lampenleistung und damit die Lichtintensität, die mit der Photodiode gemessen wird, ändert. Insbesondere betrifft dies Wolframlampen und dementsprechend die Messungen nach den US-Standards.



Gemäß der mathematischen Tatsache, daß eine Gerade durch mindestens zwei Punkte festgelegt wird, ist die klassische Kalibriermethode die 2-Punktkalibrierung. Meßwerte im Bereich bis zu 10 NTU können hiermit ausreichend genau bestimmt werden, da die Kurve in diesem Bereich ausgezeichnet linear ist.

Soll die Messung im gesamten Meßbereich mit der spezifizierten Genauigkeit gültig sein, müssen alle angebotenen Kalibrierpunkte genutzt werden. Die Kalibrierung wird als Mehrpunktkalibrierung durchgeführt.

Wird lediglich in einem eingeschränkten Meßbereich gearbeitet, können 2-Kalibrierpunkte jeweils oberhalb und unterhalb des Werts der Probe gewählt werden. In diesem Fall spricht man vom Einklammerungsverfahren.

Die letzte Kalibriermöglichkeit ist die Einpunktkalibrierung, die nur in unmittelbarer Umgebung des Kalibrierstandards eine zuverlässige Aussage liefert.

Messung

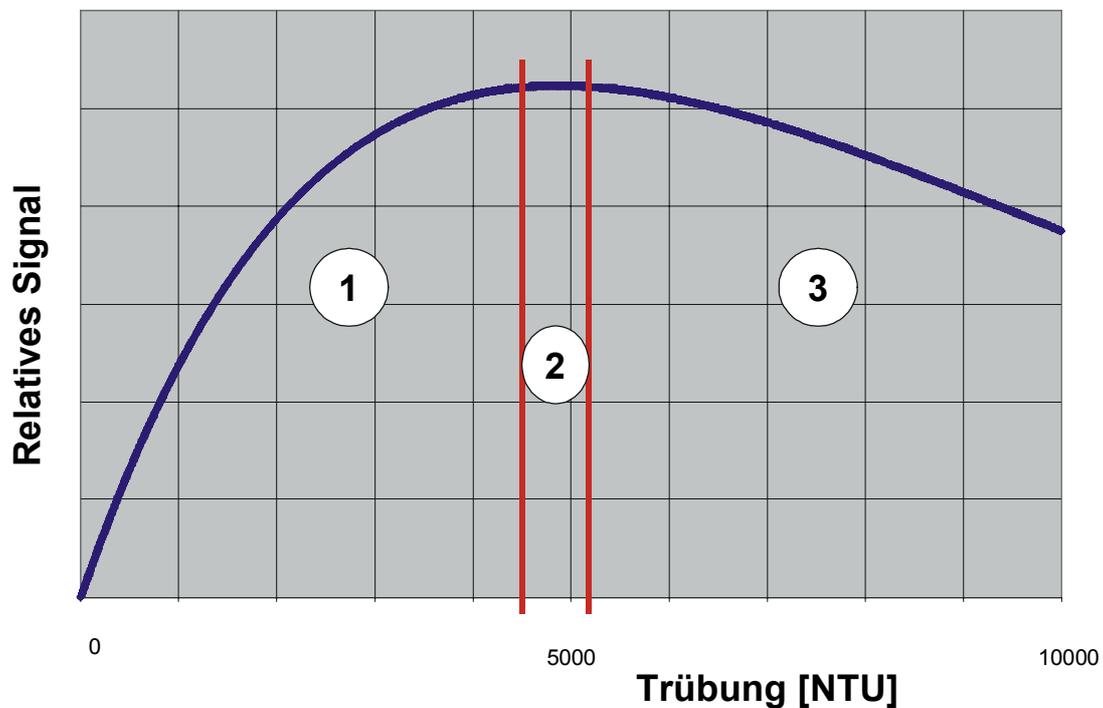
Zunächst einige typische Trübungswerte

	Trübung [NTU]
Entionisiertes Wasser	0,02
Trinkwasser	0,02...0,5
Quellwasser	0,05...10
Abwasser (ungeklärt)	70...2000
Siebwasser (Papierindustrie)	60...800

Werte, die unter 0,02 NTU liegen, sind physikalisch nicht möglich. Dieser Trübungswert des reinen Wassers ist bedingt durch den Einfluß der Wassermoleküle auf Licht. Er beruht damit streng genommen nicht auf einer Trübung im eigentlichen Sinn, sondern auf nicht unterdrückbaren physikalischen Eigenschaften.

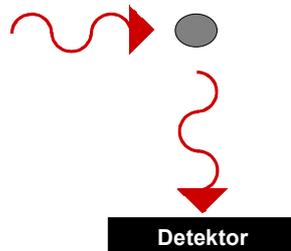
Nephelometrische Messung

Betrachtet man die Abhängigkeit des relativen Signals eines Nephelometers von der tatsächlichen Trübung einer Probe, stellt man einen auf den ersten Blick ungewöhnlichen Kurvenverlauf fest. Es gibt drei deutlich unterschiedliche Bereiche:



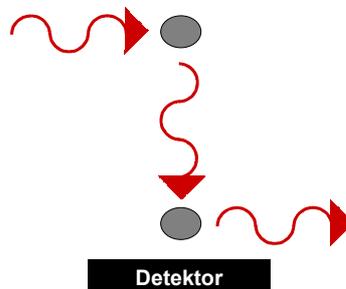
Abschnitt 1:

Bei niedrigen Trübungswerten sind nur wenige Partikel in der Probe und jedes wird vom einfallenden Licht voll getroffen. Die Streustrahlung kann damit ungehindert vom Detektor erfaßt werden. Das relative Signal steigt proportional zur Trübung.



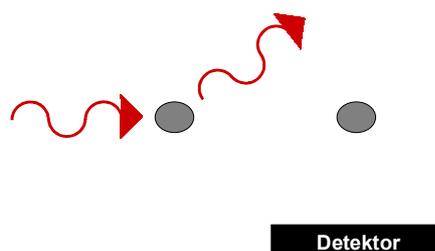
Abschnitt 2:

Steigt die Trübung, so beeinflussen sich die Partikelchen gegenseitig. Durch deren größere Zahl bekommt nicht jedes Trübungsteilchen den kompletten Lichtstrahl ab beziehungsweise die Streustrahlung erreicht den Detektor nicht. Die Partikelchen spenden sich im Prinzip Schatten. Die Trübung verhindert damit ein weiteres Anwachsen des Detektorsignals, das auf einem bestimmten Niveau stagniert.



Abschnitt 3:

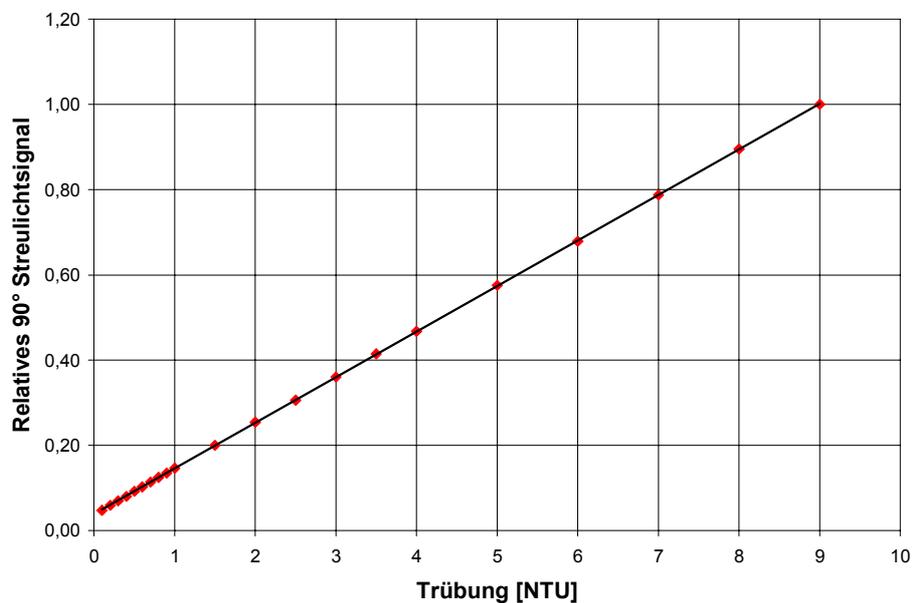
Steigt die Trübung und damit die Anzahl der Feststoffteilchen noch weiter an, ist die gegenseitige Beeinflussung der Teilchen derart groß, daß das Meßsignal wieder absinkt.



Der mit einer konventionellen nephelometrischen Messung erreichbare Maximalwert (im Beispiel auf Seite 9 ca. 4500 NTU) ist im wesentlichen von der Geometrie des Meßgeräts abhängig.

Eine Unterscheidung zwischen dem aufsteigenden und dem absteigenden Ast der nephelometrischen Messung ist allerdings meßtechnisch möglich. Durch eine geschickt gewählte zusätzliche Messung kann zwischen hohen und niedrigen Trübungswerten unterschieden werden.

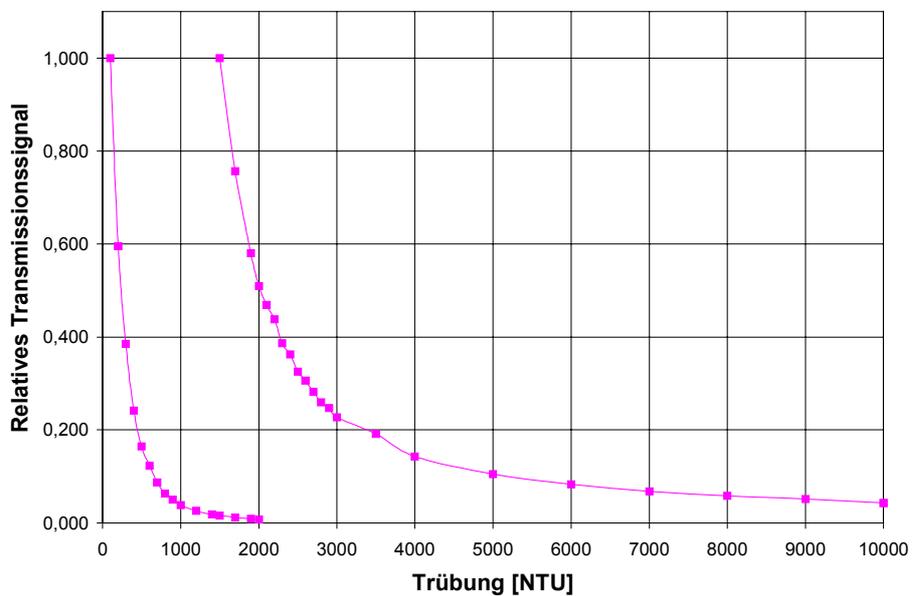
Die nephelometrische Messung besteht vor allem im sehr niedrigen Meßbereich, wie die folgende Darstellung der Abhängigkeit des 90° Streulichtsignals von der Trübung im Bereich <10 NTU zeigt. Diese experimentelle Kurve wurde mit dem WTW-Trübungsmeßgerät Turb 555 aufgenommen.



Durchlichtmessung

Der entscheidende Vorteil der Durchlichtmessung kommt bei Proben mit mittleren bzw. hohen Trübungen zu tragen. Eine gegenseitige Beeinflussung der Partikel findet in deutlich geringerem Maße statt als bei der nephelometrischen Messung, weil nicht das Streulicht, sondern die Schwächung des eingestrahlenen Lichts untersucht wird.

Bei niedrigen Trübungen fällt das Licht nahezu unverändert auf den Detektor. Die Intensität des auf die Probe treffenden Lichts ist dann von der Intensität des nach dem Probendurchgang auf den Detektor treffenden Lichts schwer zu unterscheiden. An dieser Stelle bedient man sich geschickterweise eines Strahlteilers, der den Meßstrahl auf zwei unterschiedliche Detektoren lenkt, wobei jeder seine spezielle Empfindlichkeit besitzt. Ein typisches Transmissionssignal für zwei Detektoren als Funktion der Trübung sieht dann folgendermaßen aus.

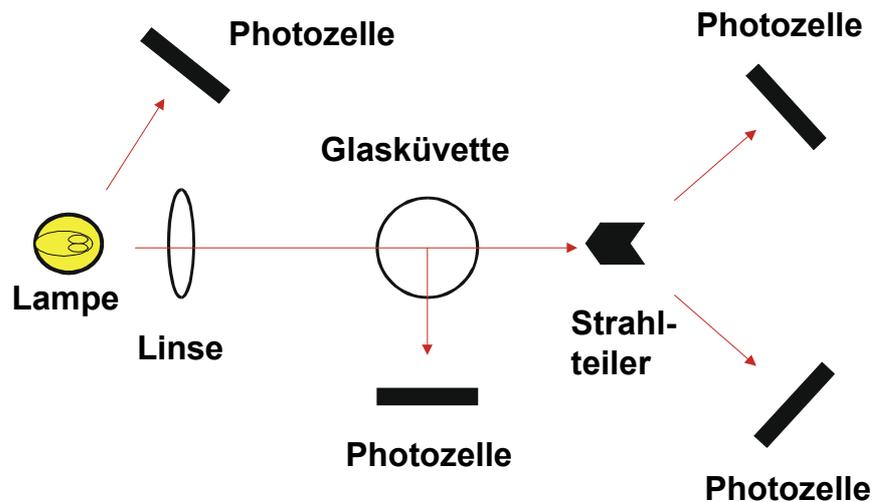


Hinweis: Diese Darstellung zeigt die relative Signalstärke einer Durchlichtmessung am Detektor für unterschiedlich getriebte Probensuspensionen. Die Trübung ist hierfür in NTU angegeben!

Ratio-Methode

Bei der Ratio-Methode handelt es sich um eine Kombination der beiden Methoden von Durchlichtmessung und Nephelometrischer Messung. Die Ratio-Methode erlaubt die Bestimmung von Trübungswerten bis zu 10000 NTU. Hintergrund ist die gleichzeitige Verwendung des Detektors der Durchlichtmessung und des Detektors der nephelometrischen Messung.

Meßanordnung der WTW Turb 555 Trübungsmeßgeräte



In dieser Darstellung ist der bei der Durchlichtmessung angeführte Strahlteiler mit den entsprechenden Detektoren und auch die Photozelle des Referenzzweiges dargestellt, welche die ausgesandte Lichtenergie der Lampe mißt.

Durch einen entsprechenden Meßalgorithmus können bei der Ratio-Methode Störeffekte von Streulicht und Probenfärbungen kompensiert werden. Dazu aber einige Hinweise: Die Ratio-Methode erlaubt zwar die Messung problematischer Proben, entspricht aber nicht den europäischen und US-amerikanischen Standardmethoden.

Die Kompensation mittels der Ratio-Methode ist herstellerspezifisch. Jeder Hersteller hat seinen eigenen Meßaufbau!

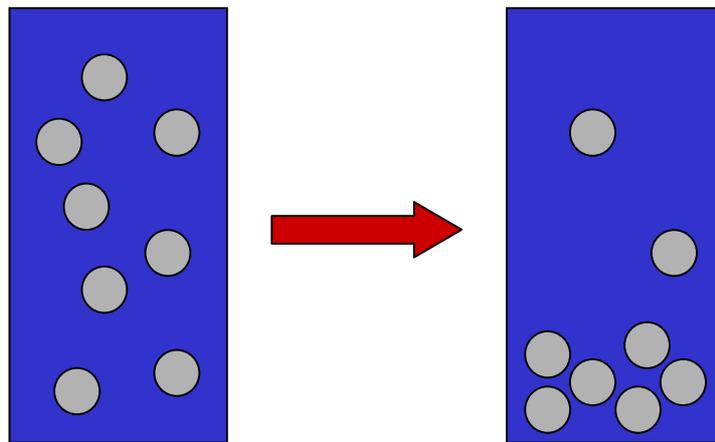
Um Werte zu kennzeichnen, die mit der Ratio-Methode erhalten wurden, müssen diese durch den Zusatz „Ratio“ gekennzeichnet werden, z. B. NTU-Ratio.

Praktische Hinweise zur Trübungsmessung

Um einen korrekten Meßwert zu erhalten, sind nicht nur die Kalibrierung und die Wahl des geeigneten Meßgeräts zu beachten, sondern alle Schritte von der Probenahme bis zur Dokumentation des Meßergebnisses.

Probenahme und Probenaufbewahrung

Die Messung sollte unmittelbar nach der Probenahme geschehen, um ein Absetzen oder Flocken von Partikeln zu unterbinden.



Hierdurch wird zwangsläufig der meßbare Trübungswert verringert, weil die Feststoffpartikel nicht mehr im Strahlengang sind. **Ähnlich kritisch wirken sich Temperaturveränderungen aus, da hierdurch die Viskositäten und Löslichkeiten beeinflusst werden können. Zudem können Verdünnungen zu Veränderungen der Trübung führen.**

Als Resultat dessen sollten die Proben unmittelbar nach der Probenahme gemessen werden. Wenn dies nicht möglich ist, kann nach DIN EN 27027 die Probe kühl, dunkel und nicht länger als 24 h aufbewahrt werden, wobei unmittelbar vor der Messung wieder auf Raumtemperatur thermostatisiert werden muß.

Entgasen der Probe

Luftblasen, auch sehr kleine, die für das menschliche Auge nicht mehr sichtbar sind, beeinflussen die Messung, da sie wie kleine Linsen auf das eingestrahlte Licht wirken.

Der Effekt hängt von der Größe der Luftblasen ab. Sprunghafte Meßsignale können auf großen Luftblasen beruhen, kleine Luftblasen werden im Meßwert als Untergrundstreuung mit erfaßt. Luftblasen sollten deshalb entfernt werden.

Die Standard Methods empfehlen folgende Methoden:

- Erzeugung eines leichten Unterdrucks
- Zugabe eines oberflächenaktiven Stoffes zur Verringerung der Oberflächenspannung
- Ultraschallbäder
- Erhitzen

Diese Methoden sollten grundsätzlich mit Vorsicht verwendet werden, da eine Veränderung der Probe möglich ist! Am besten ist es Luftblasen zu vermeiden.

Verdünnung der Probe?

Ganz im Gegensatz zum üblichen chemischen Verständnis sind Probenverdünnungen für die Trübungsmessung nur unter Vorbehalt durchzuführen.

Wird eine Probe mit 500 NTU 1+4 mit dest. Wasser verdünnt, hat die resultierende Probe nicht zwangsläufig 100 NTU! **Verdünnungen können nur für einen relativen Vergleich herangezogen werden.** Das sei an einem Beispiel erläutert: Wenn eine Produktprobe stets gleichmäßig verdünnt wird, können diese Werte miteinander verglichen werden, und die Qualität vergleichend beurteilt werden. Man kann aber nicht auf den absoluten Trübungswert der unverdünnten Stammlösung schließen.

Handhabung der Küvetten

Küvetten müssen sauber sein!

Diese Aussage klingt auf den ersten Blick trivial, ist aber für die Messung der Trübung von essentieller Bedeutung.

Küvetten sowohl innen und außen mit verdünnter Salzsäure oder Laborseife reinigen und anschließend mit destilliertem Wasser mehrfach ausspülen und an Luft trocknen lassen.

Auf keinen Fall Leitungswasser zum Spülen verwenden, da sich beim Trocknen Kalkablagerungen bilden!

Zur Reinigung der Küvetten von außen, z.B. vor der Messung, empfehlen wir handelsübliche Glasreiniger und fusselfreie Tücher.

Küvetten müssen abgeglichen werden!

Unterschiede im Glas beeinflussen den Trübungsmeßwert. Für geringe Trübungswerte, wo sich dies natürlich am stärksten auswirkt, sollte immer ein und dieselbe Küvette verwendet werden, oder ein paar Küvetten abgeglichen werden. Hierfür gibt man dieselbe Probe in die abzugleichenden Küvetten, notiert den Wert der ersten Küvette und dreht die anderen Küvetten solange im Gerät bis der gleiche Wert angezeigt wird. Mit den beigefügten Markierungsringen wird die Küvettenposition markiert.

Küvetten müssen frei von Oberflächenschäden wie z.B. Kratzern sein!

Kratzer verändern die optischen Eigenschaften von Glas und damit den Meßwert. Bei verkratzten Küvetten ist die Anschaffung neuer Küvetten dringend zu empfehlen. Das Aufbringen von einer dünnen Silikonschicht zum Egalisieren ist nicht zu empfehlen, da die Silikonschicht die Messung beeinflussen kann.

Küvetten dürfen nur an der Verschlusskappe angefaßt werden!

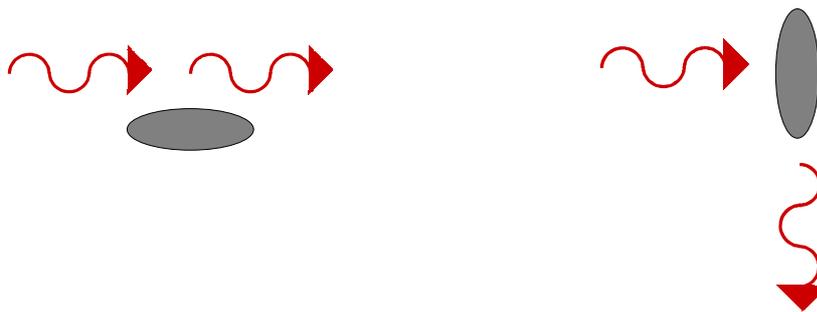
Fingerabdrücke auf der Küvette verursachen massive Meßwertabweichungen. Das Küvettenglas muß absolut sauber sein. Am einfachsten umgeht man diese Probleme, wenn man die Küvetten grundsätzlich nur an der Verschlusskappe anfaßt.

Ablesen der Meßwerte

Nach dem Einsetzen der Küvette zeigt das Trübungsmeßgerät einen Meßwert an. Ist dieser Wert stabil, wird er dokumentiert, schwankt er, liegt das im Normalfall nicht am Meßgerät, sondern an der Probe.

Leider sind die Partikelchen meist keine ideal kugelförmigen Gebilde sondern haben eine unregelmäßige Struktur. Das hat zur Konsequenz, daß der Trübungswert von der Lage der festen Teilchen abhängig ist.

Die folgende Grafik spiegelt dies vereinfacht wider:



Schwankende Meßwerte sind demnach in der Regel durch Lageveränderungen der Partikel begründet (Brownsche Molekularbewegung, Ausrichtung durch Schwerkraft, usw.).

Fazit: Nicht das Meßgerät zeigt instabile Meßwerte sondern die Trübungswerte sind instabil.

Bei stark schwankenden Meßwerten sollte eine Reihe von Werten aufgenommen werden und mit statistischen Methoden ausgewertet werden, um dokumentationsfähige Werte zu erhalten.

Angabe der Meßergebnisse

Ergebnisse müssen in der richtigen Form dokumentiert werden. Ein Meßergebnis darf nicht genauer gemacht werden, als es die Messung zuläßt. Die Auflösung der Anzeige des Meßgeräts spielt hierbei eine untergeordnete Rolle. Interessanterweise sind sich auch hier wiederum die ISO-Normvorschrift und die Standard Methods uneins. Der folgenden Tabelle sind die festgelegten Auflösungen zu entnehmen.

Meßwertanzeige	Standard Methods: Ergebnis in NTU auf folgenden Wert genau angeben	ISO7027 / DIN EN 27027: Ergebnis in FNU/FAU auf folgenden Wert genau angeben
0 bis 1,0	0,05	0,01
1 bis 10	0,1	0,1
10 bis 40	1	1
40 bis 100	5	1
100 bis 400	10	10 (ab \geq 100)
400 bis 1000	50	
> 1000	100	

Messung des Feststoffgehalts durch Trübungsmeßgeräte?

Offensichtlich ist ein Zusammenhang zwischen dem Feststoffgehalt und der Trübung gegeben. Eine hohe Trübung entspricht einem hohen Gehalt an suspendierten Stoffen. Auf Grund der bisher angesprochenen Problematiken, wie Größe, Form und optische Eigenschaften der Probe kann leider die „**Massenkonzentration der Schwebstoffe aus dem Trübungswert nicht direkt berechnet werden.**“ (ISO 7027 / DIN EN 27027).

Selbst für gleiche Proben besteht kein linearer Zusammenhang, da z.B. eine fünffach verdünnte Probe nicht unbedingt ein Fünftel des Trübungswerts der unverdünnten Probe liefert.

Rückschlüsse auf den Feststoffgehalt von Proben sind nur unter bestimmten Voraussetzungen möglich:

- Die Probenzusammensetzung ist immer identisch
- Das gleiche Meßgerät wird stets verwendet und die Kalibrierungen sind auf gleiche Art und Weise durchgeführt
- Eine eigene, nur für die entsprechende Probenmatrix gültige Korrelationskurve wurde erstellt.

Anhang

Herstellung einer Formazin-Standardlösung ($C_2H_4N_2$)

Herstellung nach der ISO-EN-DIN-Norm:

Ein Membranfilter der Porenweite $0,1 \mu m$ für bakteriologische Untersuchungen 1 h in 100 ml dest. Wasser legen. Anschließend 250 mL dest. Wasser durch dieses Filter filtrieren und das Wasser verwerfen. 500 mL Wasser nun zweimal filtrieren und dieses Wasser für die Herstellung der Standardlösungen verwenden.

10,0 g Hexamethylentetramin ($C_6H_{12}N_4$) in obigem Wasser lösen und auf 100 ml auffüllen. 1,0 g Hydrazinsulfat ($N_2H_6SO_4$) ebenfalls in obigem Wasser lösen und auf 100 ml auffüllen.

Achtung: Hydrazinsulfat ist giftig und steht im Verdacht Krebs zu erzeugen!

Jeweils 5 mL der beiden Lösungen werden gemischt und 24 h bei $(25\pm 3)^\circ C$ stengelassen. Anschließend wird mit Wasser auf 100 mL aufgefüllt. Die Trübung dieser Lösung beträgt nun 400 Formazin-Schwächungseinheiten (FAU) beziehungsweise 400 Formazin-Nephelometrieinheiten (FNU).

Diese Lösung ist, wenn sie im Dunkeln bei Raumtemperatur aufbewahrt wird, ca. vier Wochen haltbar.

Aus dieser Stammlösung können Verdünnungen hergestellt werden, wenn das beschriebene mehrfach filtrierte Wasser verwendet wird. **Im Gegensatz zu Realproben ist hier eine Verdünnung durchführbar!**

Hinweis zur Herstellung nach den Standard Methods:

Die Herstellung erfolgt bis auf zwei Ausnahmen analog:

10.00 g Hexamethylentetramin ($C_6H_{12}N_4$) in Wasser lösen und auf 100 ml auffüllen.
1.000 g Hydrazinsulfat ($N_2H_6SO_4$) ebenfalls in Wasser lösen und auf 100 ml auffüllen.

Jeweils 5 mL der beiden Lösungen werden gemischt und 24 h bei $(25\pm 3)^\circ C$ stengelassen. Die Trübung dieser Suspension beträgt nun 4000 NTU.

Die Mengen an Hexamethylentetramin und Hydrazinsulfat müssen dementsprechend wesentlich genauer eingewogen werden als nach der ISO-Norm und die Stammlösung ist zehnmals konzentrierter. Eine Vorverdünnung findet nicht statt.

Literaturverzeichnis

- [1] Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – TURBIDITY – 2130 – 20th Edition 2000
- [2] DIN EN 27027 – Bestimmung der Trübung – DEV 31. Lieferung 1994
- [3] ISO 7027 – Water quality – Determination of turbidity – 2nd Edition 1990-04-05