

Fachthema

Trübungsmessung bei der Filtration /

Vergleich 90° Streulicht und 11° Vorwärtsstreulicht Dr. Rüdiger Philipp / Essen

1) [Einleitung](#)

2) [Was ist Trübung?](#)

3) [Meßtechnische Erfassung der Trübung](#)

4) [Vergleichbarkeit von Streulichtmeßgeräten](#)

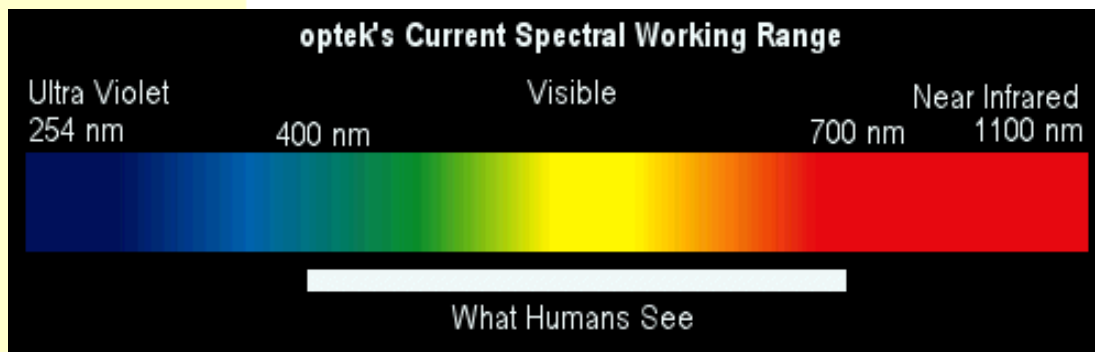
5) [Der Zusammenhang](#) Partikelgröße - Meßwinkel - Meßwert

6) [Verlauf der Partikelkonzentration](#)
und der Anzeige der 90° - und
vorwärts-Streulicht-Meßgeräte
während der Filtration

7) [Ein Zwei-Winkelmeßgerät oder zwei
Ein-Winkelmeßgeräte?](#)

8) [Auslegung der Meßtechnik](#)

9) [Zusammenfassung](#)



1) Einleitung

Die Trübungsmessung nach dem Filter mittels Streulicht ist in den Brauereien eine seit Jahren eingeführte Technik. Hierbei werden im wesentlichen zwei Meßverfahren eingesetzt, nämlich die Trübungsmessung mittels

- **90° - Streulicht bzw.**
- **Vorwärts - Streulicht.**

Um sicherzustellen, daß Sie als Anwender die für Ihren Betrieb richtige Entscheidung bezüglich Auswahl und Einsatz der Meßgeräte treffen, sollten im Vorfeld folgende Fragen geprüft werden:

Werden die Trübungsmessungen für die Qualitäts- oder die Anlagensicherung benötigt?

Welche Trübungsart soll nach welchem Filter bestimmt werden?

Muß jede Trübungsart an jedem Meßort gemessen werden oder bringt es Vorteile, an einem bestimmten Ort nur selektiv eine Trübungsart zu bestimmen?

Wie soll die Meßtechnik ausgelegt werden, z.B. als Zwei-Winkelmeßgerät oder zwei Ein-Winkelmeßgeräte?

Wie hängen Auslegung und Investitionskosten zusammen?

Um diese Fragen beantworten zu können, muß erst geklärt werden:

Was ist Trübung?

2) Was ist Trübung?

Trübung ist keine physikalisch eindeutig definierte Größe wie z.B. Druck oder Temperatur, sondern ein optischer Eindruck. Dieser entsteht durch die Absorption und Streuung von Licht an Partikeln, die in einer Flüssigkeit verteilt sind. Partikel ist dabei jedes dreidimensionale Gebilde, das einen anderen Brechungsindex als das Trägermedium hat. Unter den Begriff Partikel fallen also nicht nur Feststoffe wie z.B.

- Hefe,
- Gur, PVPP,
- Filterhilfsmittel,
- Kolloide,

sondern auch Flüssigkeiten wie z.B.

- ungelöstes Öl in Wasser,
- Milch,

aber auch Gase in Flüssigkeiten wie z.B.

- entbundenes CO₂ in Bier,
- Luftblasen in Flüssigkeiten.

Daher ist es nicht möglich, z.B. in einem Bier mit CO_2 - Entbindung, d.h. mit Gasblasen, die Trübung zu messen, da Gasblasen grundsätzlich die Messung verfälschen.

3) Meßtechnische Erfassung der Trübung

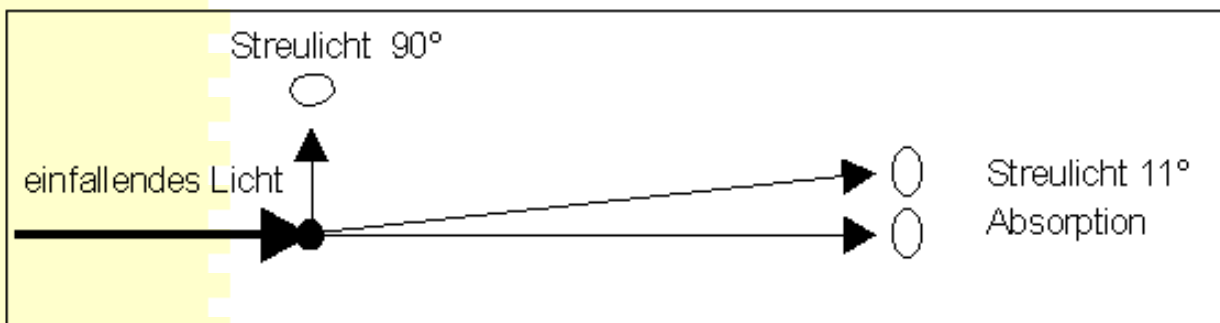
Meßtechnisch kann der Trübungsgrad durch die

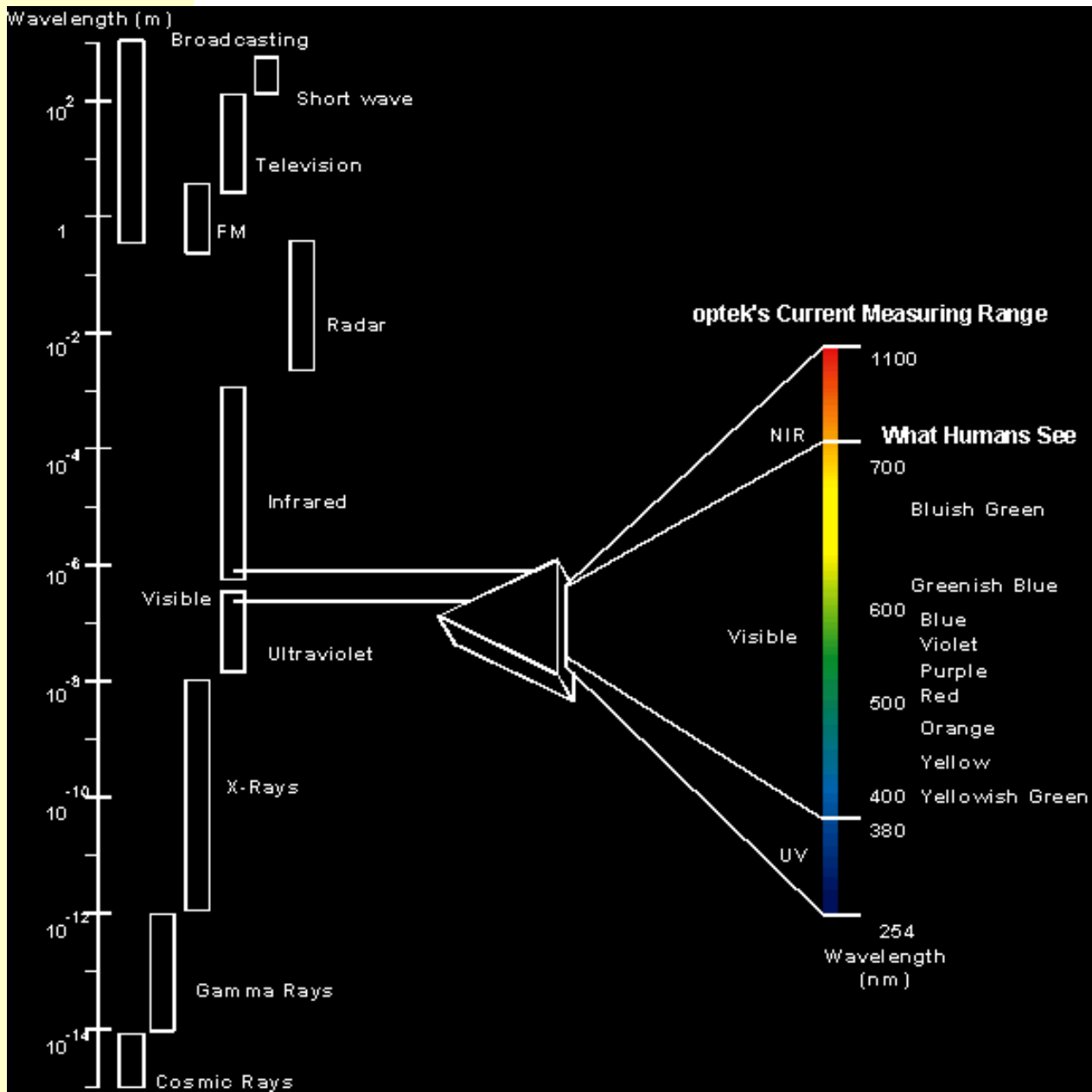
- Absorption von Licht
- Streuung von Licht

erfaßt werden.

Beide Meßverfahren haben eine gemeinsame Basis:

- Ein Lichtstrahl durchdringt das Prozeßmedium.
- Empfänger detektieren Veränderungen im Lichtstrahl (siehe Skizze).





Bei der **Absorptionsmessung** befindet sich der Detektor direkt auf der optischen Achse des Lichtstrahls und mißt die durch die Partikelkonzentration verursachte Lichtschwächung.

Bei der **Streulichtmessung** dagegen erfassen Detektoren die unter einem bestimmten Winkel gestreute Lichtmenge.

Gängigerweise benutzt man die Absorptionsmessung zur Erfassung hoher Partikelkonzentrationen, z.B. Messung der Hefekonzentration beim Hefeabzug, während die Streulichtmessung zur Erfassung niedriger Konzentrationen eingesetzt wird, z.B. Resttrübung nach Filter oder am Läuterbottich als MEBAK-konforme Messung

In der Folge betrachten wir nur noch die Streulichtmessung, und zwar unter Meßwinkeln von 11° (Vorwärts-Streulichtmessung) und 90°.

4) Vergleichbarkeit von Streulichtmeßgeräten

Um Streulichtmessungen vergleichbar zu machen, werden diese Meßgeräte mit einer Suspension, z.B. Formazin, kalibriert. Die in Brauereien übliche Trübungseinheit ist das

"EBC"

EBC: European Brewery Convention

Meßwinkel	90°	11°
Referenzlösung		
Formazin	FTU TEF NTU EBC	FTU TEF EBC

FTU: basiert auf Formazin als Referenz und gibt keinen Hinweis auf den Meßwinkel

NTU: basiert auf Formazin als Referenz und ist auf einen Meßwinkel von 90° festgelegt (1 NTU = 1 FTU bei 90° Meßwinkel)

EBC: 1 EBC = 4 NTU

Heute erlauben oder bevorzugen viele Brauereien auch die Messung der Vorwärtsstreuung unter 11°. Entsprechend gilt dann:

1 EBC = 4 FTU = 4 TEF.

Es ist daher grundsätzlich sinnvoll, bei der Angabe von Trübungswerten in EBC auch den Meßwinkel mitanzugeben.

FTU: Formazin -Turbidity - Unit

TEF: Trübungs-Einheiten - Formazin

NTU : Nephelometric - Turbidity - Unit

5) Der Zusammenhang Partikelgröße - Meßwinkel - Meßwert

Trübungsmeßgeräte werden grundsätzlich wie in Kapitel 4 erläutert, mittels Formazin kalibriert, um die Messungen auf einen gemeinsamen Standard zurückzuführen. Dies bedeutet, daß mit einer definierten

Formazinsuspension als Meßlösung alle Geräte den gleichen Wert anzeigen müssen.

Betrachten wir jetzt eine **reale Probe**, z.B. Bier nach dem Filter, so zeigt die Erfahrung:

Unterschiedliche Meßgeräte mit unterschiedlichen Meßwinkeln zeigen unterschiedliche Meßwerte an.

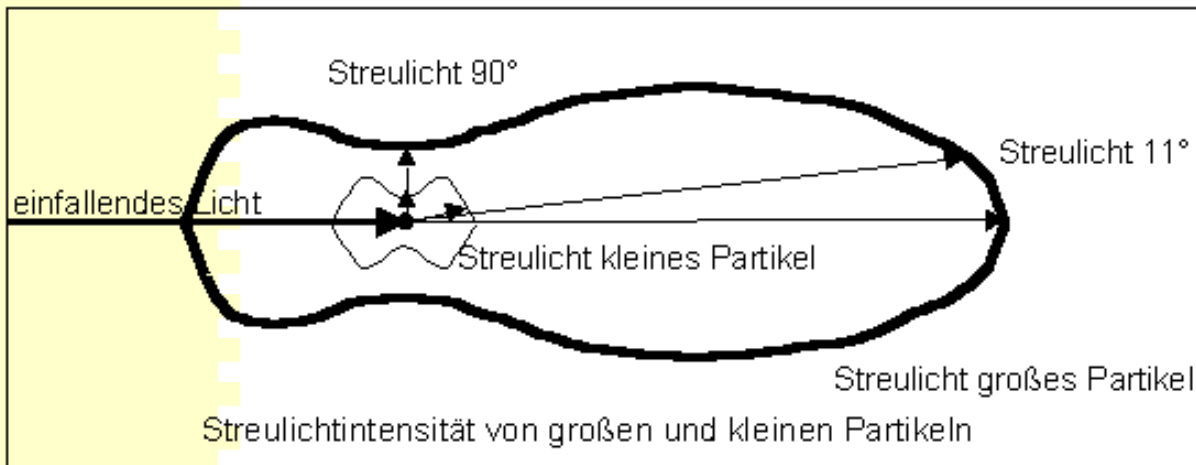
Dies muß auch so sein, denn bei der Streulichtmessung hängt der eigentliche Meßwert nicht nur von der Partikelkonzentration, sondern u.a. auch von folgenden Faktoren ab:

- Partikelgröße
- Meßwinkel des Streulichtmeßgerätes.

Die folgende Skizze zeigt schematisch die Streulichtintensitäten von großen und kleinen Partikeln, (z.B. Gur oder Hefe) und Kolloiden (z.B. Proteine).

Wie man sieht, sind die Intensitätsänderungen in Abhängigkeit von der Partikelgröße unter dem Streulichtwinkel von 90° relativ klein, während unter dem Winkel von 11°

sehr große Intensitätsänderungen beim Übergang von kleinen zu großen Partikeln auftreten.



Vergleicht man jetzt die 90° - mit der Vorwärts-Streulichtmessung, so ergeben sich hieraus folgende Regeln:

- Vorwärts-Streulicht zeigt eine sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber Partikeln wie z.B. Kieselgur und eine gute Empfindlichkeit gegenüber Kolloiden.
- 90° Streulicht zeigt eine sehr niedrige Empfindlichkeit gegenüber Partikeln wie z.B. Kieselgur oder Hefe und eine gute Empfindlichkeit gegenüber Kolloiden. Die Erfahrung bestätigt dies, da mit der 90° -Messung selbst bei Anwesenheit einer gewissen Menge an Partikel (Hefe, Gur) noch die kolloidale Trübung erfaßt werden kann.

Das 90° -Signal ist weitgehend unabhängig von der Partikelgröße und wird im wesentlichen von der Anzahl der Partikel bestimmt.

Demgegenüber ist das Vorwärts-Streulichtsignal von der Anzahl und der Größe der Partikel abhängig, d. h., es wird das Gesamtvolumen der Partikel erfaßt. Aus dieser Größe "Gesamtvolumen" kann dann ggf der Gesamtfeststoffgehalt abgeleitet werden. Daher wird auch von Seiten der MEBAK der Einsatz der Vorwärts-Streulichtmessung im Sudhaus empfohlen.

Zusammenfassend kann daher gesagt werden, daß 90° - und Vorwärts-Streulicht keine alternativen,

sondern sich ergänzende Meßverfahren sind, die unterschiedliche Informationen liefern.

6) Verlauf der Partikelkonzentration und der Anzeige der 90° - und Vorwärts-Streulicht-Meßgeräte während der Filtration

Wie verhalten sich jetzt die Vorwärts-Streulicht- und 90°-Streulichtsignale in der Praxis während der Anschwemmung , in der Filtration und beim Filterdurchbruch?

Dazu betrachten wir einen Kieselgurfilter an dessen Auslauf zwei Meßgeräte installiert sind; 90° Streulicht und Vorwärts - Streulicht

Das nebenstehende Bild (siehe Seite 11) zeigt sowohl die Veränderung der Partikel- und Kolloidkonzentration in den einzelnen Phasen der Filtration als auch das dazugehörige Signalverhalten von 90°- und Vorwärts-Streulichtgeräten.

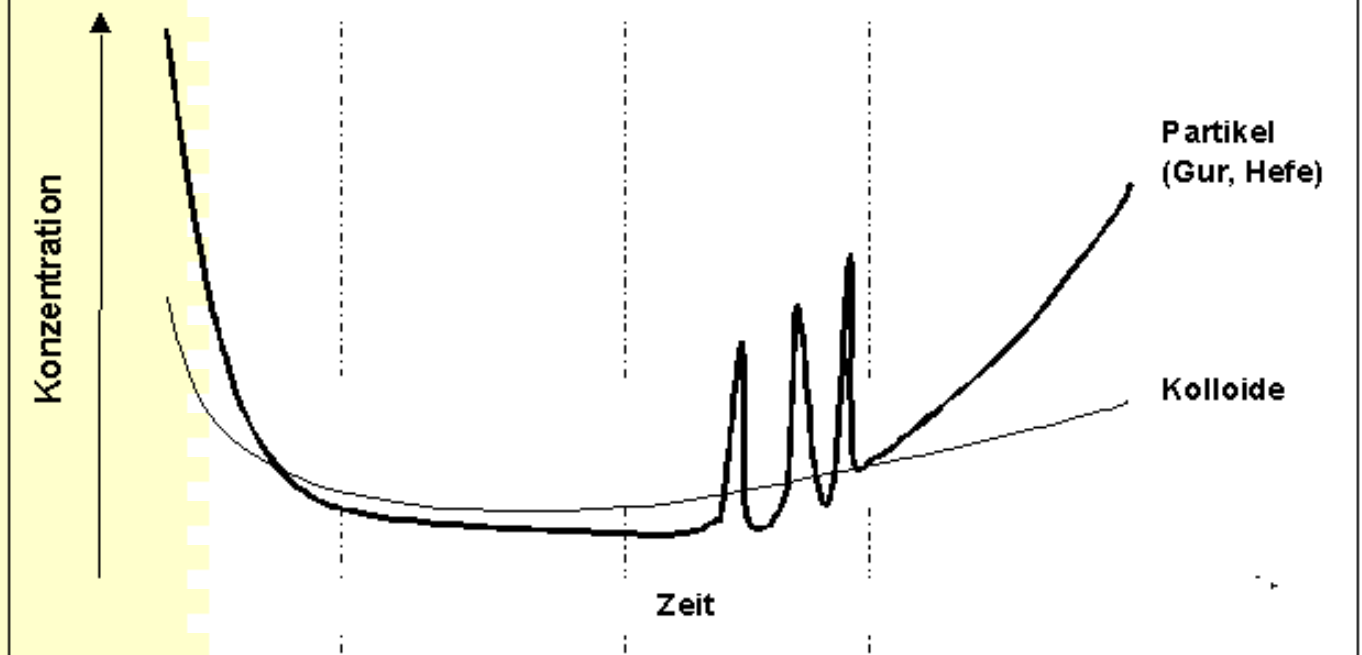
Während der **Anschwemmung** wird sowohl die Gur- als auch die Kolloidkonzentration kleiner, der jeweilige Endwert wird in der **Filtration** erreicht. Bei **beginnenden Durchbrüchen** steigt die Gurkonzentration stoßweise an, während die Kolloidmenge sich nicht wesentlich verändert. Bei einem **Durchbruch** steigt die Gurkonzentration sprunghaft an.

Betrachten wir jetzt das resultierende Signalverhalten der beiden Streulichtmeßgeräte in Abhängigkeit von der Partikelart und unter Berücksichtigung der einzelnen Filtrationsschritte:

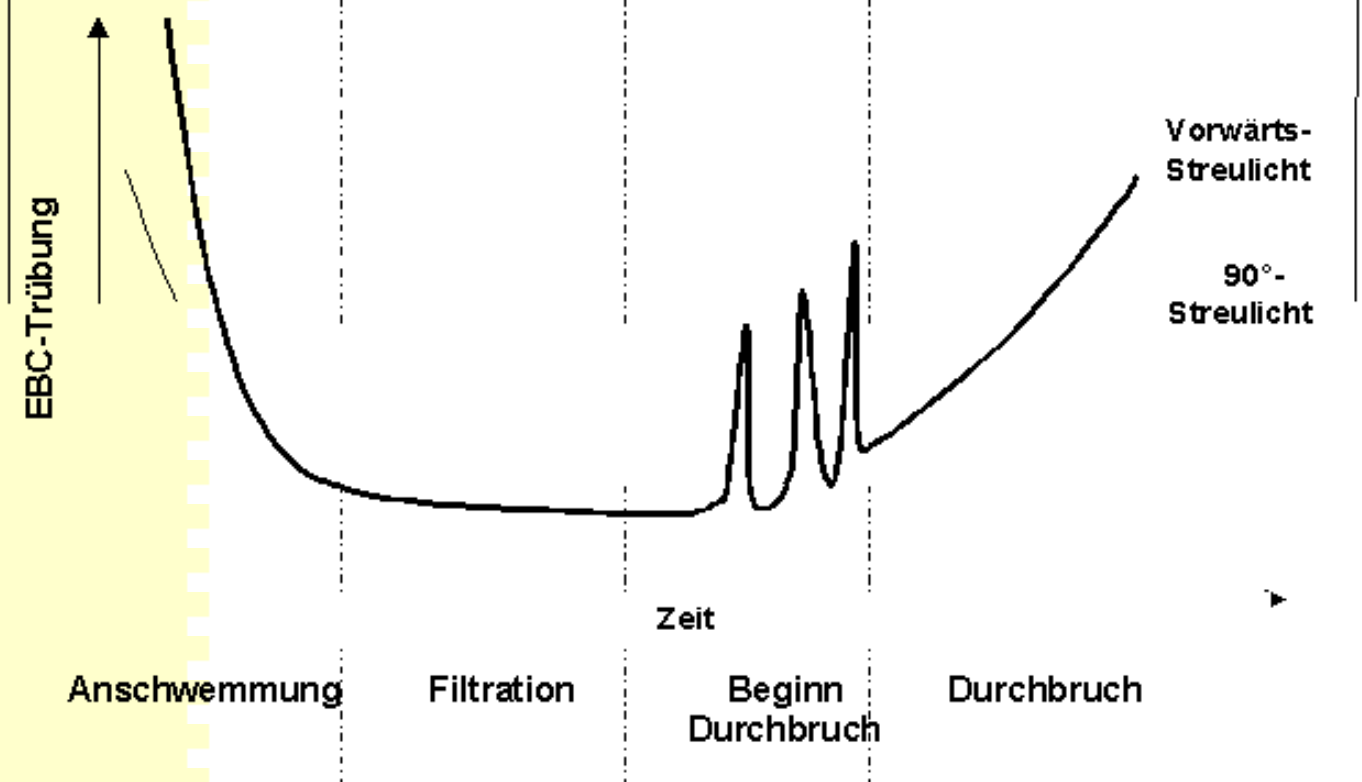
	Vorwärts-Streulicht	90° - Streulicht
Partikel (Gur, Hefe)	<ul style="list-style-type: none"> • Zuverlässige Anzeige jeder Konzentrationsänderung in jeder Phase der Filtration 	<ul style="list-style-type: none"> • Wiedergabe des allgemeinen Trends , • geringe Konzentrationsänderungen, z.B. beim beginnenden Durchbruch werden nicht erfaßt, • der Durchbruch selbst wird tendenziell angezeigt.
Kolloide	<ul style="list-style-type: none"> • Zuverlässige Anzeige in der Filtration, • in Anwesenheit von Partikeln wird die kolloidale Trübung überdeckt 	<ul style="list-style-type: none"> • Zuverlässige Anzeige in der Filtration • Fehlmessung beim beginnenden Durchbruch möglich

Verlauf der Partikelkonzentration und der Anzeige der Meßgeräte:

Verlauf der Partikelkonzentration:



Anzeige von 90°- und Vorwärts-Streulicht:



Welche Schlüsse lassen sich jetzt aus diesen Sachverhalten ableiten:

Da die **Vorwärts-Streulichtmessung** sehr empfindlich jede Änderung in der Feststoffkonzentration anzeigt, muß der Kieselgurfilter grundsätzlich mit einem Vorwärts-Streulichtmeßgerät überwacht werden. Damit kann die Anschwemmung optimiert werden und gleichzeitig werden beginnende Durchbrüche zu einem Zeitpunkt erkannt, an dem die 90°-Messung noch nicht anspricht. Die nachgeschalteten Aggregate sind demnach mit einer Vorwärts-Streulichtmessung sicher geschützt, d.h., der Steril- oder Schichtenfilter wird nicht geschädigt, unerwünschter Bodensatz in der Flasche oder im Tank z.B. durch Gur tritt erst gar nicht auf.

Andererseits kann die **90°-Streulichtmessung** selbst bei Anwesenheit vereinzelter Gur- oder Hefepartikel die kolloidale Trübung als Maß für den Glanz oder die Stabilität des Bieres noch einwandfrei bestimmen. Eine Installation nach dem Kieselgurfilter zur Bestimmung der kolloidalen Trübung ist damit möglich.

Will man dagegen als Anwender sicher sein, daß die kolloidale Trübung vollständig unabhängig von Partikeln erfaßt wird, muß das 90°-Gerät nach dem letzten Filter eingebaut werden.

Konsequenterweise müssen die eingangs gestellten Fragen (siehe Einleitung) in folgender Weise modifiziert werden:

- **Werden die Trübungsmessungen für die Qualitäts- oder die Anlagensicherung benötigt?**
- **Welche Informationen brauche ich wo zur Überwachung bzw. Optimierung meines Prozesses?**
- **Muß ich jede Trübungsart an jedem Ort messen?**
- **Muß ich mit Zwei-Winkel-Meßgeräten arbeiten?**
- **Welche meß- oder verfahrenstechnischen Vorteile bieten Ein-Winkelmeßgeräte?**

Sind Ein-Winkel-Meßgeräte auch unter Kostengesichtspunkten von Vorteil?

7) Zwei-Winkelmeßgerät oder zwei Ein-Winkelmeßgeräte?

Um die zuvor gestellten Fragen seriös beantworten zu können, muß immer die individuelle Aufgabenstellung berücksichtigt werden. Folgende Aspekte können im Mittelpunkt stehen:

- 1 Optimierung der Anschwemmung am Kieselgurfilter**
- 2 Schutz des Sterilfilters bereits in der Anfangsphase vor Durchbrüchen des Kieselgurfilters**
- 3 Schutz der nachgeschalteten Anlage (z.B. Abfüllung) vor Durchbrüchen des Sterilfilters**
- 4 Messung der kolloidalen Trübung unabhängig von Partikeln**

Um vor diesem Hintergrund eine Bewertung von **Zwei- oder Ein-Winkel-Meßgeräten** vornehmen zu können, prüfen wir folgende typische Installationsmodelle auf Erfüllung der Forderungen gemäß 1 - 4:

Installationsmodell a:

Ein Zwei-Winkelmeßgerät 90°-/ Vorwärts-Streulicht nach Kieselgurfilter

Installationsmodell b:

Ein Ein-Winkel-Meßgerät Vorwärts-Streulicht nach Kieselgurfilter
Ein Ein-Winkel-Meßgerät 90°-Streulicht nach Sterilfilter

Installationsmodell c:

Ein Ein-Winkel-Meßgerät Vorwärts-Streulicht nach Kieselgurfilter

Ein Ein-Winkel-Meßgerät Vorwärts-Streulicht nach Sterilfilter

Betrachten wir jetzt die Fälle im einzelnen:

Der Einbau eines Zwei-Winkelmeßgerätes gemäß **Installationsmodell a** ist gekennzeichnet durch folgende Vorteile:

- Optimierung der Anschwemmung mittels Vorwärts-Streulicht
- Erkennung von beginnenden Durchbrüchen mittels Vorwärts-Streulicht
- Schutz des Sterilfilters durch die Vorwärts-Streulichtmessung.

Nachteilig sind folgende Punkte:

- Nach dem Sterilfilter fehlt jede Messung und damit auch jede Absicherung der nachgeschalteten Anlage.
- Die Erfassung der kolloidalen Trübung nach dem Kieselgurfilter kann durch Gur- oder Hefepartikel gestört werden.

Beim Schritt vom Zwei-Winkelmeßgerät (90°- und Vorwärts-Streulicht) zu zwei Einwinkelmeßgeräten (je 90° - und Vorwärts-Streulicht) und einem Einsatz gemäß **Installationsmodell b** bleiben alle oben aufgeführten Vorteile unter Vermeidung obiger Nachteile erhalten, da

- die Messung der kolloidalen Trübung nach dem Sterilfilter unabhängig von Partikeln erfolgt und
- der Schutz der nachgeschalteten Anlage (z.B. Abfüllung) vor Durchbrüchen des Sterilfilters mittels der 90° - Messung gewährleistet ist.

Ersetzt man jetzt im **Installationsmodell c** das 90°-Ein-Winkelmeßgerät durch ein Vorwärts-Streulichtgerät, so ist man in der Lage, wie gehabt, die kolloidale Trübung nach dem Schichtenfilter mittels Vorwärts-Streulicht zu erfassen, da dort keine Störung durch Partikel auftreten darf. Sollte aber doch ein Filter anfangen, durchzubrechen, so kann dieser Störfall bereits in der Anfangsphase zuverlässig durch die Vorwärts-Streulichtmessung erkannt werden.

Ein weiterer Vorteil von Zwei-Einwinkel-Meßgeräten ist die erhöhte Verfügbarkeit, da bei Ausfall einer Lampe immer noch das zweite Gerät zur Verfügung steht.

Diese Ausführungen zeigen daher, daß der Einsatz von zwei Ein-Winkelmeßgeräten in den Installationen b und c verfahrenstechnisch günstiger ist als ein Zwei-Winkelmeßgerät, da sie dem Anwender folgende Vorteile bieten:

- Die Installationsorte können unabhängig voneinander gewählt werden.
- Die die Messung störenden Faktoren können vermieden werden.
- Neben der Trübungsmessung im Rahmen der Qualitätssicherung kann noch zusätzlich die Anlagensicherung gewährleistet werden.
- Bei Ausfall einer Lampe als Verschleißteil steht immer noch das zweite Gerät für eine Absicherung zur Verfügung.

Bei richtiger Auswahl der Ein-Winkelmeßgeräte ist es sogar möglich, die Anschaffungskosten zu senken, da zwei Ein-Winkel-Meßgeräte neben einem verbesserten Preis-Leistungsverhältnis in der Investitionssumme niedriger liegen können. Neben den technischen Vorteilen ist es daher auch unter kaufmännischen Gesichtspunkten sinnvoll, Ein-Winkelmeßgeräte einzusetzen.

Das Ergebnis dieser Betrachtungen kann in einer Matrix dargestellt werden

	Installation a	Installation b	Installation c
	1 x Zwei-Winkelmeßgerät 90°-/ Vorwärts-Streulicht	2 x Ein-Winkelmeßgerät 90°- und Vorwärts-Streulicht	2 x Ein-Winkelmeßgerät Vorwärts-Streulicht und Vorwärts-Streulicht
Optimierung der Anschwemmung am Kieselgurfilter	Ja	Ja	Ja
Schutz des Sterilfilters bereits in der Anfangsphase vor Durchbrüchen des Kieselgurfilters	Ja	Ja	Ja
Schutz der nachgeschalteten Anlage (z.B. Abfüllung) vor Durchbrüchen des Sterilfilters	Nein	Bedingt	Ja
Messung der kolloidalen Trübung unabhängig von Partikeln	Bedingt	Ja	Ja

8) Auslegung der Meßtechnik

Bei Auswahl eines Meßgerätes sollte auf folgende Punkte geachtet werden:

a) Wartungsfreiheit:

- Nachkalibrieren: sollte nicht erforderlich sein
 - Fensterwechsel: sollte nicht erforderlich sein
- Nullpunktkontrolle: sollte nicht erforderlich sein

b) Handhabungssicherheit:

- Meßbereichswahl: frei konfigurierbar, ohne Serviceunterstützung
 - Sensor: kein periodisches Öffnen im Feld z.B. zum Wechseln einer Blaugelfüllung
- Leckageerkennung: von außen, ohne Öffnen des Sensors,
 - sicherer Ausschluß einer Rekontamination durch Druckaufbau im Dichtungssystem

c) Auswahl der Medium-berührten Teile:

EPDM und Edelstahl sind heute Stand der Technik. Glas als Fenstermaterial ist im Filterkeller einsetzbar. In allen übrigen Bereichen der Brauerei sollte Saphir verwendet werden, da dieses Material nicht von CIP-Lauge angegriffen wird und

auch nicht zu Eiweißablagerungen neigt.

9) Zusammenfassung

Die **Vorwärts-Streulichtmessung** gestattet eine optimale Steuerung der Anschwemmung und ist ein zwingendes Muß zur einwandfreien Erkennung von Filterdurchbrüchen und damit zum Schutz der nachgeschalteten Anlage vor Gur- oder Hefeeintrag.

Die **90°-Messung** ermöglicht eine Erfassung der kolloidalen Trübung auch bei Anwesenheit von Gur oder Hefe, da die Empfindlichkeit gegenüber Gur- oder Hefepartikeln niedrig ist. Daraus ergibt sich gleichzeitig, daß die 90°-Messung zur Erfassung von Gur oder Hefe nicht ausreichend ist.

90°- und Vorwärts-Streulichtmessung sind daher in der Filtration keine alternativen Meßverfahren, sondern eine sinnvolle Ergänzung, die unterschiedliche Informationen liefern.

Bei Einsatz von **zwei Einwinkel-Meßgeräten** können die Installationsorte unabhängig voneinander gewählt werden, was bei einem Zwei-Winkelmeßgerät nicht der Fall ist.

Sinnvoll sind folgende Kombinationen:

Ein Ein-Winkel-Meßgerät Vorwärts-Streulicht nach Kieselgurfilter

Ein Ein-Winkel-Meßgerät 90°-Streulicht nach Sterilfilter

Ein Ein-Winkel-Meßgerät Vorwärts-Streulicht nach Kieselgurfilter

Ein Ein-Winkel-Meßgerät Vorwärts-Streulicht nach Sterilfilter

Der Anwender gewinnt dadurch folgende Vorteile:

Die Anschwemmung kann über Vorwärts-Streulicht optimiert werden.

Durchbrüche des Kieselgurfilters werden über Vorwärts-Streulicht sehr frühzeitig erkannt.

Die 90°-Messung mißt die kolloidale Trübung nach dem Sterilfilter unabhängig von störenden Partikeln.

Mit der 90°-Messung können große Partikeldurchbrüche nach dem Sterilfilter erkannt werden.

Wird eine größere Empfindlichkeit für Partikelerkennung nach dem Sterilfilter gewünscht, so empfiehlt sich auch hier der Einsatz eines Vorwärts-Streulichtmeßgerätes, das dann auch zur Messung der kolloidalen Trübung verwendet werden kann.

Autor: [Dr. Rüdiger Philipp](#), Essen

Digitalisierung: Jens Hofmann