

## OTT SVR 100

# Oberflächengeschwindigkeitsradar für Messungen in offenen Gerinnen



Bild 1: OTT SVR 100 mit kardanischer Aufhängung

### Einführung

Die Messung von Fließgeschwindigkeiten an der Wasseroberfläche ist eine der ältesten Messmethoden in der Hydrometrie, seit Jahrhunderten erprobt und einfach mit Hilfe von Schwimmern durchführbar. Die Bestimmung des Abflusses auf der Basis gemessener Oberflächengeschwindigkeiten wird auch in verschiedenen hydrometrischen Normen und Regelwerken behandelt, z. B. in der ISO 748 "Hydrometry – Measurement of liquid flow in open channels using current meters or floats". Während Schwimmersysteme sehr gut für Spotmessungen anwendbar sind, ermöglichen Oberflächengeschwindigkeitsradarsensoren eine lückenlose Erfassung von Echtzeitdaten rund um die Uhr mit hoher Genauigkeit und geringem Energie- und Wartungsaufwand. Das berührungslose Messprinzip hat außerdem den Vorteil, dass Sediment, Schmutz oder Treibgut ihm nichts anhaben können.

### Geschwindigkeitsmessprinzip

Im OTT SVR 100 kommt neueste Radartechnologie zum Einsatz, die hochgenaue Messergebnisse liefert und keinen äußeren Einflüssen wie Temperatur, Feuchtigkeit oder Wasserdichte unterliegt. Ein parallel zur Hauptfließrichtung ausgerichteter und optimal unter 30° zur Wasseroberfläche geneigter Sensor sendet und empfängt elektromagnetische Wellen. Bei rauher, bewegter Wasseroberfläche kehren die reflektierten Echos mit einer veränderten Frequenz bzw. Wellenlänge (Dopplerverschiebung) zum Sensor zurück. Daraus lässt sich die Fließgeschwindigkeit an der Oberfläche ableiten, siehe Bild 2.

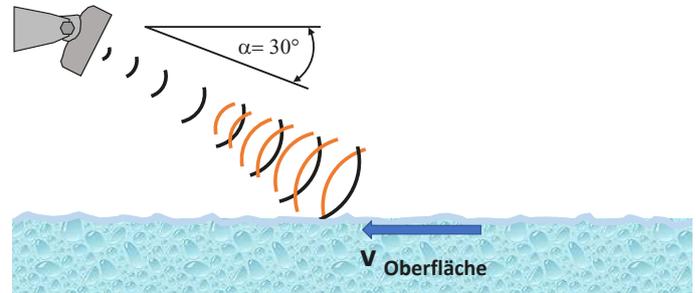


Bild 2: OTT SVR 100 Geschwindigkeitsmessprinzip

In offenen Kanälen und Flüssen weist die Oberfläche in der Regel immer eine gewisse Rauigkeit auf. Selbst kleinste, kaum wahrnehmbare Wellenbewegungen reflektieren die Radarstrahlen zurück zum Sensor. Schon ab einer Wellenhöhe von 1 mm liefert der OTT SVR 100 zuverlässige Messdaten.

### Sensorausrichtung, Fließrichtung, Messbereich

Eine sorgfältige und fachgerechte Messstellenauswahl und die Ausrichtung des Sensors im richtigen Neigungswinkel sind die Grundvoraussetzung dafür, dass der Sensor die spezifizierte Genauigkeit liefern kann. Der Neigungswinkel ist von 20° bis 60° einstellbar (Bild 3). Der optimale Bereich liegt zwischen 30° und 45°.

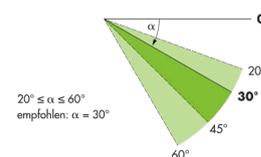
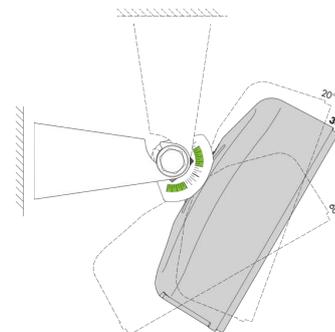


Bild 3: OTT SVR 100 Ausrichtung

Eine abgestufte Skalierung an der Halterung erleichtert die Sensorausrichtung. Ein Neigungswinkel von 30° wird empfohlen und hat sich für die meisten Anwendungen als optimal erwiesen. Der Neigungswinkel sollte 45° nicht überschreiten.

Der Sensor soll parallel zur Hauptströmung und flussaufwärts ausgerichtet sein, so dass das Wasser auf den Sensor zufließt.

Der OTT SVR 100 ist mit einem integrierten Neigungssensor ausgestattet. Der gemessene Neigungswinkel wird vom Gerät mit jedem gemessenen Geschwindigkeitswert ausgegeben und auch in der Bediensoftware des OTT SVR 100 angezeigt. Es empfiehlt sich, den gemessenen Winkel bereits bei der Installation zu prüfen. Der Neigungswinkel wird intern für die automatische Korrektur der v-Komponente benutzt (Kosinus Satz).

Wie groß der Bereich ist, den der Radar auf der Wasseroberfläche erfasst, hängt vom Abstand des Gerätes zur Wasseroberfläche und vom Neigungswinkel ab. Der Messbereich sollte frei von jedweden Hindernissen sein. Auch Vegetation, die eventuell in die Strecke zwischen dem Sensor und dem Messbereich hineinragt, hat einen ungünstigen Einfluss auf die Messgenauigkeit.

Der Radarstrahl deckt einen elliptischen Bereich auf der Wasseroberfläche ab und ermöglicht somit die Messung der durchschnittlichen Fließgeschwindigkeit in diesem Bereich. Der OTT SVR 100 benutzt komplexe Kalman-Filter-Algorithmen mit physikalischer Modellierung der Fließverhältnisse, um auch bei turbulenten Verhältnissen stabile Messwerte bereitstellen zu können. Dennoch sind bei starken Turbulenzen Messschwankungen und eine etwas geringere Messgenauigkeit zu erwarten. Sind an der Messstelle turbulente Fließverhältnisse zu erwarten, sollte die Filterlänge des Radars auf 120 Sample oder mehr eingestellt werden.

Bild 4 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen der Größe des Messbereiches bzw. der Abtastfläche, dem Abstand des Sensors zur Wasseroberfläche und dem Neigungswinkel. Tabelle 1 zeigt die errechneten Größen beispielhaft für die Messbereiche der gängigsten Anwendungen.

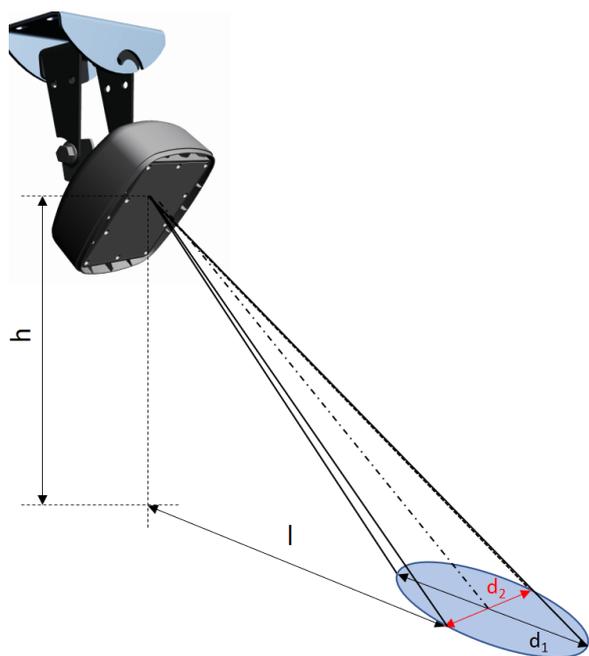


Bild 4: OTT SVR 100 Messbereich auf dem Wasserspiegel

Tabelle 1: Größe der Messoberfläche des Radarstrahls (Auswahl)

Winkel [°]	30°			45°			60°		
	Höhe h [m]	l [m]	d1 [m]	d2 [m]	l [m]	d1 [m]	d2 [m]	l [m]	d1 [m]
1	1,7	2,0	0,4	1	0,9	0,3	0,6	0,6	0,2
2	3,5	3,9	0,8	2	1,8	0,6	1,2	1,2	0,5
3	5,2	5,9	1,3	3	2,7	0,9	1,7	1,7	0,7
4	6,9	7,9	1,7	4	3,6	1,2	2,3	2,3	1,0
5	8,7	9,8	2,1	5	4,5	1,5	2,9	2,9	1,2
6	10,4	11,8	2,5	6	5,3	1,8	3,5	3,5	1,5
7	12,1	13,8	2,9	7	6,2	2,1	4,0	4,0	1,7
8	13,9	15,7	3,4	8	7,1	2,4	4,6	4,6	1,9
9	15,6	17,7	3,8	9	8	2,7	5,2	5,2	2,2

Als Messstelle ist ein Ort mit möglichst gleichmäßigen Fließverhältnissen am besten geeignet. Zuverlässige Messergebnisse erhält man, wenn die Messstrecke gerade ist und die Strömung uferparallel erfolgt. In der Praxis hat sich folgende Faustregel bewährt: Verlaufen die oberstromige Gewässerstrecke auf einer Länge des fünf- bis zehnfachen der Gewässerbreite sowie die Gewässerstrecke stromab auf einer doppelten Länge der Gewässerbreite gerade, dann kann man davon ausgehen, dass der Abfluss uferparallel erfolgt.

Gleichmäßiges Fließverhalten ist der wichtigste Faktor um genaue und stabile Messwerte zu erhalten. Turbulenzen, vor allem Makroturbulenzen (z. B. Strudel) gilt es zu vermeiden. Durch Anpassung des Radarneigungswinkels und Finden einer geeigneten Sensorposition ist es möglich, den optimalen Messbereich auf der Wasseroberfläche auszuwählen.

Man muss wissen, dass Wasser ein stark reflektierendes Medium ist. Trifft der Radarstrahl auf die Wasseroberfläche, wird der Großteil der Strahlen reflektiert und in alle möglichen Richtungen gestreut, und nur ein kleiner Teil kehrt zum Radarsensor zurück. Aus diesem kleinen Anteil des Strahls errechnet der Sensor nun die Oberflächengeschwindigkeit. Wie viel Energie tatsächlich wieder beim Sensor ankommt, hängt auch stark von der Rauigkeit der Wasseroberfläche ab. Damit der Radar fehlerfrei arbeitet, muss die Wasseroberfläche leicht in Bewegung sein. Da der Radarsensor über hochempfindliche Empfängerbausteine verfügt, benötigt der OTT SVR 100 nur eine Wellenhöhe von mindestens 1 mm.

Diese hochempfindlichen Empfängerbausteine bieten den Vorteil, selbst niedrige Geschwindigkeiten bei minimaler Oberflächenrauigkeit zu messen. Der Nachteil besteht darin, dass der Radar anfällig für sogenannte Mehrwegeeffekte ist, die an bestimmten Stellen auftreten können, wo ein Teil des Radarstrahls auf die Wasseroberfläche trifft, von dort zu einem anderen Objekt, z. B. einer nahen gelegenen Brücke, reflektiert wird und anschließend wieder von dieser zum Sensor zurück. Effekte dieser Art sind allerdings sehr selten.

## Regen und Wind

Mit Hilfe interner Filteralgorithmen ist der OTT SVR 100 in der Lage, die Wirkung unerwünschter Effekte, die durch Regen, Nebel oder Wind hervorgerufen werden können, zu unterbinden bzw. zu reduzieren. Diese Filter unterliegen allerdings einigen Einschränkungen. Eine durchdachte Installation ist daher stets die beste Maßnahme gegen Messunsicherheiten.

Einer Beeinträchtigung der Messung durch Regen wird am wirkungsvollsten begegnet, indem der Radarsensor flussaufwärts ausgerichtet wird, sodass das Wasser auf den Sensor zufließt.

Wenn es regnet, bewegen sich dann die Regentropfen vom Radar weg, während die Strömung auf den Sensor zukommt. So kann das Gerät ganz leicht zwischen fließendem Gewässer und Regen unterscheiden. Zudem kann der Sensor so konfiguriert werden, dass nur die auf den Sensor zukommende Strömung gemessen und ausgegeben wird. In diesem Fall ignoriert der Sensor alle Bewegungen, die sich von ihm entfernen. An manchen Messstellen kann Wasser auch in zwei Richtungen fließen (z.B. Gewässer im Tidebereich). Hier sollte der Radarsensor so konfiguriert werden, dass er die ankommende und die abfließende Strömung misst. Dazu wählt man „beide Richtungen“ im Setup.

Da die Energie des Radarstrahls exponentiell zur Entfernung abnimmt, ist das Gerät gegenüber Regen unmittelbar vor dem Sensor am empfindlichsten. Deshalb kann der Einfluss von Niederschlag zusätzlich minimiert werden, indem man den Sensor unter einem Bauwerk montiert, sodass die ersten ein bis zwei Meter vor dem Radar vor Niederschlag geschützt sind. Wird der Radarsensor an einer Brücke angebracht, ist es also sinnvoll, ihn nicht am Geländer oder am Brückenkopf zu montieren, sondern möglichst unter der Brücke. Auf diese Weise bietet die Brücke Schutz vor Niederschlag direkt vor dem Sensor.

Die Wasseroberfläche bzw. die Fließgeschwindigkeit wird außerdem vom Wind beeinflusst. Je nach Windrichtung wird die Fließgeschwindigkeit erhöht oder verlangsamt. In vielen Fällen ist der Windeinfluss auf die Messgenauigkeit vernachlässigbar und kann kompensiert werden indem die Mittelungszeit verlängert wird. Die einzige Ausnahme sind starke Windgradienten, da sie Oberflächenwellen erzeugen, die sich in andere Richtungen bewegen, als das Wasser fließt.

## Vibrations-Index – Qualitätsstempel für Messdaten

Gerät ein Radarsensor, der an einer Brücke oder einem Ausleger angebracht ist in Schwingung, beeinträchtigt dies die Qualität der Messungen. Hauptsächlich verantwortlich für solche Vibrationen sind Wind oder Verkehr. Der OTT SVR 100 ist mit einem integrierten Schwingungssensor ausgestattet welcher erfasst, ob der Sensor vibriert oder stabil ist. Zu jeder Geschwindigkeitsmessung wird zusätzlich ein Vibrations-Index ausgegeben. Dieser dient als Indikator, ob es sich bei dem Messergebnis um einen gültigen Wert handelt. Der Index reicht von 0 (keine Vibration) bis 3 (sehr starke Vibration – Wert inakzeptabel).

Befindet sich der Radarsensor zum Beispiel an einer Eisenbahnbrücke (häufige Anwendung), sind die Messwerte meist von sehr guter Qualität, bis auf den Moment, in dem ein Zug die Brücke überquert und sie in starke Schwingung versetzt. Der Radar misst zwar weiter, die Werte können jedoch verfälscht sein und werden daher mit einem höheren Index versehen. Es liegt nun beim Anwender, diesen Index zu für seine Messstelle zu interpretieren – generell gilt jedoch, dass Werte mit einem Index 3 nicht akzeptabel sind, solche mit Index 2 zumindest fragwürdig. Werte mit 1 und 0 dagegen weisen auf keine oder sehr geringe Vibration hin und gelten daher als vertrauenswürdig.

## Signalstärke

Ein gutes Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) ist der wichtigste Parameter für ein Radarsignal, das genaue und stabile Oberflächengeschwindigkeitsmessungen ermöglicht. Wird mehr Radarenergie von der Wasseroberfläche zum Radarsensor reflektiert, ist die Gesamtsignalstärke höher. Wenn weniger Energie reflektiert wird, also z. B., wenn die Oberflächenrauigkeit eher gering ist, dann ist das Signal schwächer. Bleibt bei geringer Oberflächenrauigkeit das Rauschen gleich, sinkt der SNR. Um den SNR-Wert intern zu verbessern, arbeitet der Sensor mit einem PGA (programmable gain amplifier), einem programmierbaren Verstärkerbaustein mit einer automatischen Verstärkungsregelung. Ist das reflektierte Signal schwach, erhöht der PGA den Signalpegel. Bei einem starken Signal wird die Verstärkung automatisch gedrosselt.

Der beste Indikator für ein gutes Signal ist der PGA Wert. Dieser Wert wird über den AGC (automatic gain control) Algorithmus automatisch geändert. Die kleinstmögliche Verstärkung hat den Wert 1, die maximale liegt bei 200. Die besten Messergebnisse liefert ein PGA-Wert zwischen 5 und 100; ein PGA unter 5 weist auf ein sehr starkes Signal hin, welches den Empfänger übersättigen und die Messgenauigkeit reduzieren könnte. Eine Verstärkung von 200 gilt es zu vermeiden, sie deutet auf zu geringe Reflexion von der Wasseroberfläche hin.

Das Gerät gibt zu jeder Messung einen Qualitätsstempel zur Signalqualität aus. Dieser liegt zwischen 0 (gutes Signal) und 3 (sehr schlechtes Signal). Die Werte 1 und 2 werden häufig ausgegeben, wenn der interne Verstärker (PGA) schaltet, da in diesem Moment das Signal schwanken kann. Auch wenn ungewöhnliche Reflektionen auftreten, die die Messung verfälschen, wird 1 bzw. 2 ausgegeben.

## Interferenzen und mehrere Radarsensoren

Der Radar arbeitet im K-Band, in einem Frequenzbereich von ca. 24.125 GHz. Frequenzstabilität und Phasenrauschen des internen Oszillators sind sehr gut und werden im Werk immer auf eine präzise Mittenfrequenz eingestellt. Dennoch ist es selbst bei bestmöglicher Einstellung und stabilsten Oszillatoren sehr unwahrscheinlich, dass zwei Geräte auf der exakt gleichen Frequenz arbeiten und Störungen verursachen. Die Doppler Frequenzverschiebung, die bei Fließgeschwindigkeiten bis 15 m/s auftritt, wird in kHz gemessen.

Ebenso unwahrscheinlich, wie dass zwei oder mehr OTT SVR 100 Radargeräte am gleichen Ort sich gegenseitig stören ist es, dass andere Strahlungsquellen im K-Band, z. B. der OTT RLS die Radarmessungen beeinflussen. Es ist möglich, dass manche breitbandigen Strahlungsquellen für einen Moment kleine und impulsartige Störungen verursachen, doch ist es fast unmöglich bzw. sehr unwahrscheinlich, dass die Messergebnisse des Radarsensors davon beeinträchtigt werden.

### Stromversorgung und Betrieb

Die Leistungsaufnahme sowie der große Versorgungsspannungsbereich des Gerätes ermöglichen einen Batteriebetrieb des Sensors an entlegenen Orten, wo keine Stromversorgung vorhanden ist. Der OTT SVR 100 ist so konstruiert, dass er regelmäßig ein- und ausgeschaltet werden kann, um die Stromaufnahme zu reduzieren. Im Power On-/Off- Betrieb beträgt die minimal erforderliche Einschwingzeit (Zeit bis der erste gültige Messwert zur Verfügung steht) ca. 20 s bis 40 s, je nach Standortgegebenheiten und Turbulenzen an der Wasseroberfläche. Während dieser Einschwingzeit optimiert der Sensor die programmierbare Verstärkung, Filter, Tracking-Algorithmen und alle anderen internen adaptiven Systeme für das beste SNR und höchste Messgenauigkeit.

In Kombination mit einem Datenlogger, der den Sensor zwischen den periodischen Messungen komplett abschaltet, kann der Sensor problemlos mit Batterien und/oder Solarstrom betrieben werden.

### Zertifizierung der Messgenauigkeit

Die Messgenauigkeit des Radarsensors wurde im Labor des Eidgenössischen Instituts für Metrologie der Schweiz METAS mit Hilfe von Messfahrten im zertifizierten Kalibriertank durchgeführt. Hierzu wurde der OTT SVR 100 auf einem Schleppwagen montiert und Geschwindigkeiten von 0,08 m/s bis 2 m/s über stehendes Wasser bewegt. Tabelle 2 zeigt einen Ausschnitt der Ergebnisse.

Tabelle 2: Genauigkeitsüberprüfung durch METAS (ein Ausschnitt)

Position h (mm)	Date	Start Time	No. of measure	v-ref (m/s)	Display (m/s)	Object tested U (m/s)	U [%]
1990	28.3.2018	17:07:03	3	0.50040	0.5040	0.00242	0.48
1990	28.3.2018	17:13:51	3	0.50040	0.5040	0.00242	0.48
1990	28.3.2018	17:08:36	2	0.70060	0.7010	0.00249	0.36
1990	28.3.2018	17:15:24	2	0.70060	0.7010	0.00249	0.36
1990	28.3.2018	17:25:54	3	0.80060	0.8000	0.00253	0.32
1990	28.3.2018	17:20:36	3	0.80060	0.8010	0.00253	0.32
1990	28.3.2018	17:31:12	3	1.00040	0.9860	0.01751	1.78
1990	28.3.2018	17:35:52	3	1.00040	0.9950	0.00260	0.26
1990	28.3.2018	17:41:02	2	1.50060	1.4870	0.00278	0.19
1990	28.3.2018	17:45:55	2	1.50060	1.4980	0.00278	0.19
1990	28.3.2018	17:50:44	1	2.00020	2.0070	0.00298	0.15
1990	28.3.2018	17:55:33	1	2.00030	1.9700	0.00296	0.15

Client OTT Hydromet GmbH, Ludwigstraße 16, 87437 Kempten  
 Last calibration First calibration  
 Remarks Firmware: 4.8.2  
 Distance to water surface: 190 cm  
 Angle: 30°  
 Annex to Annex A  
 Date of issue 28.3.2018  
 Head of the Laboratory Dr. Marc de Huu 



Germany  
 OTT Hydromet GmbH  
 Ludwigstrasse 16 · 87437 Kempten  
 Phone +49 831 5617-0 · Fax -209  
 info@ott.com · www.ott.com