



# Die elektronische Wasserwaage

## Neuartige Neigungssensoren für die präzise Winkelmessung

*Wasserwaagen gehören schon immer zu den elementaren Werkzeugen guter Handwerker. Einfach und effizient. Wie dieses erfolgreiche Prinzip in die mikroelektronische Gegenwart überführt wurde und wie die elektronische Wasserwaage in der Funktion eines Neigungssensors benutzt werden kann, ist Gegenstand des nachfolgenden Artikels.*



**Abbildung 1:** Klassische Wasserwaage

### Beschreibung des konduktimetrischen Messprinzips

Bei einer Wasserwaage nutzt man die Eigenschaft der Flüssigkeit aus, deren Oberfläche bestrebt ist, immer die Waagerechte einzunehmen. Möchte man nun diesen Effekt in einem elektronischen Winkelmesssystem ausnutzen, muss dem Verhalten der Flüssigkeit eine elektronisch messbare Eigenschaft zugeordnet werden können. Diese findet man u.a. bei elektrolytischen Flüssigkeiten. Unter diesem Begriff versteht man eine chemische Verbindung, die unter elektrischer Spannung in Ionen dissoziiert werden kann. Legt man an zwei eingetauchten, planaren und entgegengesetzt polarisierten Elektroden eine elektrische Spannung an, leitet die elektrolytische Flüssigkeit in Abhängigkeit der elektrischen Feldstärke einen Ionen-Gleichstrom. Dieser Strom ist abhängig von der Feldstärke respektive der angelegten Spannung sowie von der Anzahl und der Wertigkeit der Ionen.

Die Funktion, die diese Größen in einen mathematischen Zusammenhang stellt, wird als elektrolytische Leitfähigkeit  $\chi$ . (Leitfähigkeit = 1/elektrischen Widerstand) bezeichnet (in Siemens  $S = \Omega^{-1}$ ).

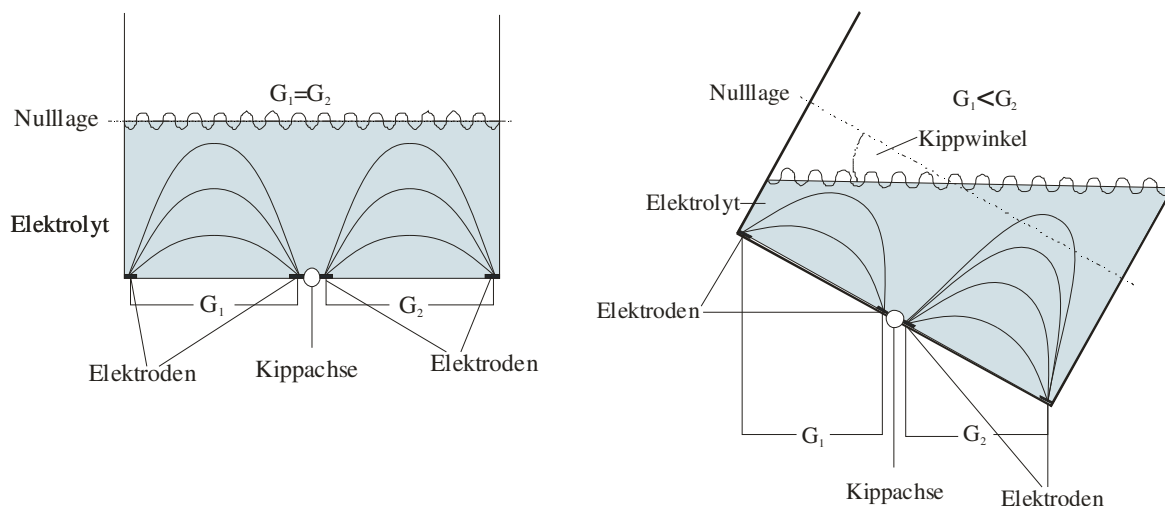
# Die elektronische Wasserwaage

## Neuartige Neigungssensoren für die präzise Winkelmessung

Der elektronischen Wasserwaage liegt die Idee zugrunde, die Leitfähigkeit des Elektrolyten (lokale Anzahl der Ionen) in Zusammenhang mit der Position eines Elektrolytenbehälters bezüglich seiner Kippachse in Zusammenhang zu bringen.

Zur Realisierung eines Neigungssensors werden dazu auf dem Boden des mit dem Elektrolyten gefüllten Behälters 4 Elektroden paarweise parallel zur Kippachse angebracht. Beim Anlegen einer Wechselspannung (zur Vermeidung der an den Elektrodenoberflächen entstehenden Polarisierungseffekte) entsteht auf beiden Seiten ein Streufeld (Siehe *Zeichnung 2*). Eine Reduzierung des Flüssigkeitsspiegels (z.B. Füllhöhe) führt zu einer Reduzierung der Anzahl der Ionen über der Elektrode und zu einer Reduzierung der Leitfähigkeit und umgekehrt. Die Füllhöhe der Flüssigkeit über den Elektroden wird durch den Kippwinkel bestimmt. Damit ändert sich der Leitwert in Abhängigkeit des Kippwinkels, also der Neigung gegen die Horizontale.

Dies wird als „konduktimetrisches Messprinzip“ bezeichnet.



**Abbildung 2:** Messprinzip des neigungsabhängigen Leitwertes

Um eine Information über die Kipprichtung ( $G_1 \leq G_2$  oder  $G_2 \leq G_1$ ) zu erhalten wird die Wechselspannung an den Elektroden gegenphasig eingespeist. An einer fünften Elektrode (Messelektrode) wird die Überlagerung der Wechselfelder gemessen. Ist der Kippwinkel Null und beide Felder (bis auf ihre Phasenlage) in der Frequenz und Amplitude identisch, so erhält man ein minimales Signal (gleichgewichtige Interferenz), da sich die Felder gegenseitig aufheben. Kippt man jetzt um die zentrale Achse, so dominiert die Leitfähigkeit der Seite mit der größeren Elektrolytmenge und es gibt eine ungleichgewichtige Interferenz der Felder, die an der Messelektrode detektiert werden kann. Kippt man in die andere Richtung, so ergibt sich ein Signal mit entgegengesetztem Vorzeichen. Damit erhält man also einen einachsigen Neigungssensor zur Messung von positiven und negativen Winkel gegen die Horizontale.

Wenn man diese Anordnung dupliziert und eine von beiden um  $90^\circ$  versetzt anordnet, lässt sich ein zweiachsiger Neigungssensor aufbauen, mit dem z.B. die Flächenlage eines Objektes in XY-Richtung bestimmt werden kann.



# Die elektronische Wasserwage

## Neuartige Neigungssensoren für die präzise Winkelmessung

Dieses patentierte konduktimetrische Messverfahren in Verbindung mit einer ausgeklügelten Schaltungstechnik, ermöglicht den Aufbau und Einsatz eines präzisen Neigungssensors wie es im nächsten Abschnitt vorgestellt wird.

### Vorteile des konduktimetrischen Messprinzips am Beispiel des DPL

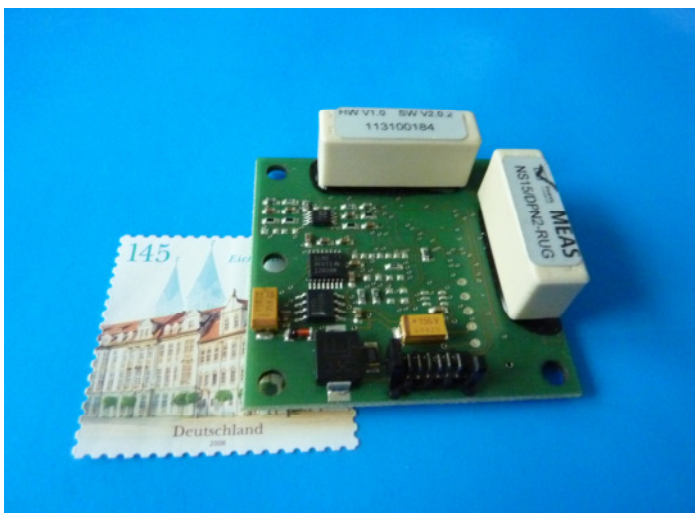
Das konduktimetrische Messverfahren zeichnet sich durch die folgenden Eigenschaften aus:

- eine hohe Null-Punktstabilität
- eine gute Langzeitstabilität
- eine hohe Auflösung
- eine sehr geringe Temperaturdrift.

Exemplarisch soll hier ein Neigungssensor aus der DPL-Serie [\[1\]](#) betrachtet (siehe *Abbildung 3*) werden.

Es handelt sich um zweiachsige, kalibrierte Neigungssensoren mit verschiedenen Messbereichen (für  $\pm 2^\circ$ ,  $\pm 5^\circ$ ,  $\pm 10^\circ$ ,  $\pm 15^\circ$  und  $\pm 30^\circ$ ). Der Neigungssensor besitzt einen schnellen Prozessor, der eine aktive Temperaturkompensation und eine Linearisierung des Ausgangssignals ermöglicht. Dadurch erreicht die DPL-Serie eine hohe Winkelauflösung von  $0,001^\circ$  und einen Gesamtfehler im Temperaturbereich von 0 bis  $50^\circ\text{C}$  von max.  $0,08^\circ$ . Der Offset beträgt  $\pm 0,08^\circ$  und die Offsetdrift (im Bereich 0 bis  $50^\circ\text{C}$ ) ist mit  $0,05^\circ$  angegeben. Aus diesen Kenndaten lässt sich ersehen, dass die Sensoren der DPL Serie sehr gut für genaue Winkelmessungen bis  $\pm 30^\circ$  geeignet sind.

Die beiden Sensorkammern sind im rechten Winkel zur X- und Y-Detektion angeordnet und auf einer Leiterplatte mit Kantenlänge von  $45 \times 45 \text{ mm}^2$  montiert.



**Abbildung 3:** 2-achsiger Neigungssensor DPL

Als Sensorausgang steht eine UART (TTL-Level) oder eine SPI-Schnittstelle zu Verfügung. Der Neigungssensor lässt sich über die Schnittstelle programmieren, wie z.B. die Baudrate, Datengeschwindigkeit, Nullpunkt, Einzelmessabfrage. Ferner ermöglicht ein programmierbarer Filter die Reduktion von Schock- und Vibrationseinflüssen während der Neigungsmessung. In Verbindung mit der Messgenauigkeit ermöglichen diese einstellbaren Parameter den Einsatz des Neigungssensors für industrielle und mobile Anwendungen.

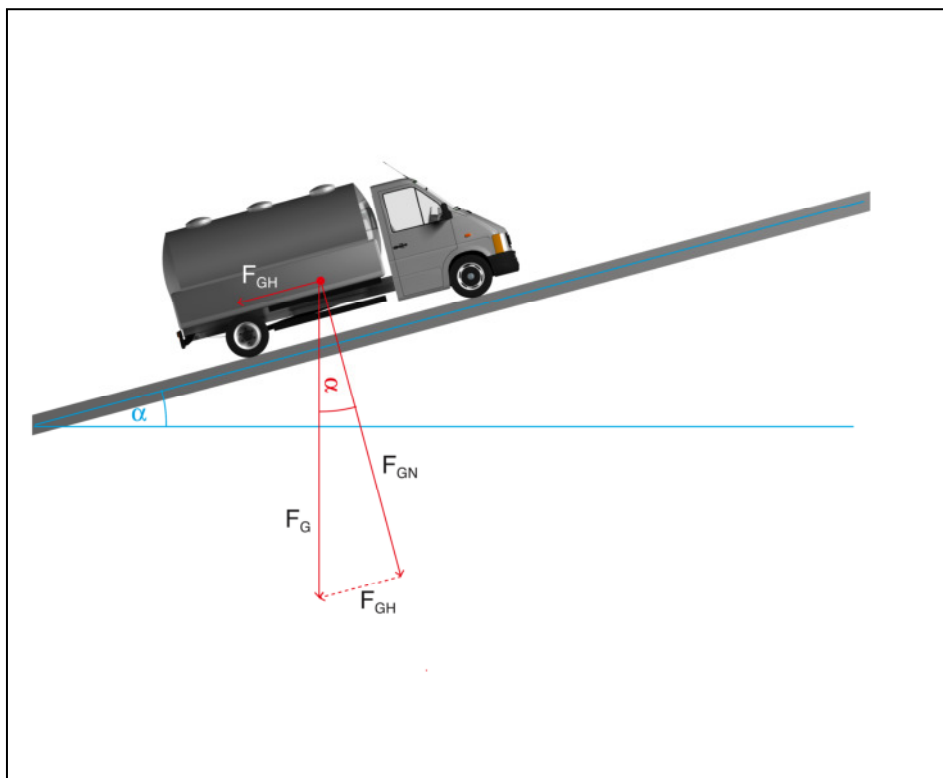
# Die elektronische Wasserwage

## Neuartige Neigungssensoren für die präzise Winkelmessung

### Anwendungsbeispiele

Einige Beispiele möglicher Anwendungen für ein- und 2-achsige Neigungssensoren:

- **Wiegensysteme** (Mobile Ladewägung z.B. Tankfahrzeug) *Siehe Abbildung 4*
- **Baumaschinen** ( Mobile und stationäre Kräne, Mobile Geräte im Wege- und Kanalbau)
- **KFZ (Diebstahlschutz)**
- **Nutzfahrzeuge** (Beladungskontrolle, Kippsilo-Leerung, Chassiskontrolle)
- **Gebäude und Brückenkontrolle** (Überwachung der Gebäudedynamik, Verformungskontrolle)
- **Plattform Nivellierung** (Mess- und Behandlungstische, Montagebühnen, Bohranlagen, Forstmaschinen, Wartungsanlagen, Leiterfahrzeuge)
- **Bremskraftsteuerung** (Bremskräfteeinstellung z.B. bei Nutzfahrzeugen)
- **Neigungskontrolle** (Schiffe, Luftfahrzeuge, Militärfahrzeuge)
- **Positionierung** (Solaranlagen, Beobachtungsplattformen wie Teleskope, Radaranlagen, Laser-Systeme, optische Vermessungssysteme)



**Abbildung 4:** Bestimmung des Neigungswinkels zur Optimierung der elektronischen Bremskräfteeinstellung z.B. in Nutzfahrzeugen und landwirtschaftlichen Fahrzeugen



# Die elektronische Wasserwage

## Neuartige Neigungssensoren für die präzise Winkelmessung

### Prinzip der Neigungswinkel abhängigen Bremskraftoptimierung

In der Ebene misst ein Neigungssensor, der entsprechend am Fahrzeug angebracht ist, den Neigungswinkel  $\alpha$  zu  $0^\circ$ . Das Gewicht des Fahrzeugs = (Gewichtskraft) entspricht:  $F_G = m \times g$  ( $m$  = Masse des Fahrzeugs und  $g$  = Erdbeschleunigung), wobei im maximal beladenen Zustand gelten sollte:  $F_G \leq$  maximal zulässiges Gesamtgewicht.

Die Bremskraft für das Fahrzeug (Handbremse) in der Ebene muss so ausgelegt sein, dass sie die äußeren Kräfte (z.B. Windkraft, willkürliche Verschiebungen, Sog vorbeifahrender Fahrzeuge usw.) aufheben kann und das Fahrzeug nicht bewegt wird. Am Hang, also bei einem Neigungswinkel  $\alpha > 0^\circ$  ergibt sich zusätzlich eine Kraft, die das Fahrzeug den Berg hinunterfahren lässt und die von dem Gewicht des Fahrzeugs  $F_G$  abhängig ist. Gemäß *Abbildung 4* lässt sich die (Gewichtskraft) des Fahrzeugs  $F_G$  in zwei Komponenten zerlegen:  $F_{GN}$  (Komponente senkrecht auf der Auflagefläche (Straße) = Normalkomponente der (Gewichtskraft) und  $F_{GH}$  (Komponente parallel zur Auflagefläche = Hangabtriebskomponente der (Gewichtskraft). Die Kraftkomponente  $F_{GH}$  veranlasst, dass das Fahrzeug den Hang herunterfährt.

Beide Kräfte ergeben sich zu:  $F_{GN} = F_G \times \cos\alpha$  und  $F_{GH} = F_G \times \sin\alpha$ .

Damit das Fahrzeug am Hang geparkt werden kann, muss also eine Kraft (z. B. Bremskraft) aufgebracht werden, die die Hangabtriebskraft aufhebt, d.h. die Bremskraft muss  $\geq F_{GH} = F_G \times \sin\alpha$  sein.

Bei Kenntnis des Neigungswinkels  $\alpha$ , kann also die Bremskraft des Fahrzeugs auf die Fahrbahn- (Gelände) gegebenheiten optimiert werden, was insbesondere bei elektronischen Bremsen notwendig ist.

### Zusammenfassung

Das konduktimetrische Messprinzip basiert auf der Leitfähigkeitsmessung einer elektrolytischen Flüssigkeit. Es besteht ein funktionaler Zusammenhang zwischen der Füllstandshöhe und dem elektrischen Feld, der elektronisch ausgenutzt werden kann. Mit den Korrekturmaßnahmen wie Temperaturkompensation und Linearisierung in der Prozessor basierten Signalauswertung ist es gelungen, auf der Grundlage dieses Prinzips genaue Neigungssensoren zu entwickeln, die in Deutschland hergestellt werden.

Die Anwendungen sind vielseitig und überall dort zu finden, wo eine Neigung in eine Richtung (einachsiger Neigungssensor) oder aus der horizontalen Lage gemessen werden soll (zweiachsiger Neigungssensor).

### Weiterführende Informationen

[1] Produktinformation: <http://www.amsys.de/produkte/neigungssensoren/>

### Kontakt

AMSYS GmbH & Co. KG  
An der Fahrt 4  
55124 Mainz  
Deutschland

Telefon: +49 (0) 6131/469875 0  
Telefax: +49 (0) 6131/469875 66  
E-Mail: [info@amsys.de](mailto:info@amsys.de)  
Internet: <http://www.amsys.de>