

schreiten. Die Sicherheitsabschaltung überführt den Messstand in einen sicheren Betriebszustand, indem sie die elektrische Last abschaltet, die Brennstoff- und Oxidansmagnetventile schließt und das gesamte System zur Inertisierung mit Stickstoff flutet.

Die in Kapitel 2.1 beschriebenen Messungen an der Laborzelle mit einer aktiven Fläche von 18 cm^2 erfolgen in einem entsprechend Bild 3.6 aufgebauten Messstand, der an die geringeren Massenströme angepasst ist. Zusätzlich besteht bei diesem Messstand die Möglichkeit, Stickstoff und Sauerstoff in dem gewünschten Verhältnis vor Eintritt in die kathodenseitige Befeuchtereinheit zu mischen. Diese Vorrichtung ist in Bild 3.6 gestrichelt dargestellt.

3.2.3 Passives Widerstandsnetzwerk zur Stromdichtemessung

Eine Methode zur Messung der Stromdichteverteilung in Brennstoffzellen bietet der Ansatz über ein passives Widerstandsnetzwerk. Während sich dieses Unterkapitel ausschließlich mit der Beschreibung der Messapparatur befasst, ist in Kapitel 3.5.1 die Messmethode beschrieben.

Das passive Widerstandsnetzwerk ist aus einer Folie aus expandiertem Graphit gefertigt. Die Stärke der Graphitfolie beträgt im unverpressten Zustand 1 mm , Länge und Breite entsprechen den Abmaßen der Bipolarplattenelemente aus Kapitel 3.1. Die Messapparatur kann sowohl in Einzelzellen als auch Zellstapeln zum Einsatz kommen. In Einzelzellen wird sie zwischen BPE und Endplatte eingebaut, in Zellstapeln zwischen zwei benachbarten BPE. Hierbei erlauben die guten Dichtungseigenschaften des Graphitmaterials eine einfache Integration in den Zellstapel. Wird die angrenzende Brennstoffzelle gekühlt, so befindet sich die Messapparatur benachbart zu der Kühlstruktur. In diesem Fall wird zum Schutz vor Korrosion eine $0,2 \text{ mm}$ dicke Graphitfolie zwischen Apparatur und Kühlstruktur angeordnet. Die beschriebene Messmethode erfordert keine Modifikation der BPE, GDL und MEA.

In der vorliegenden Arbeit wird die Stromdichteverteilung ausschließlich in Zellen ermittelt, die die in Kapitel 3.1 beschriebene Mäander-Strömungsstruktur aufweisen. Die Zellen mit Mäanderstruktur besitzen eine aktive Fläche von 244 cm^2 . Diejenige Fläche der Messvorrichtung, die auf Höhe der aktiven Fläche der benachbarten Zelle liegt, ist in 20 gleich große Segmente der Fläche $32 \times 32 \text{ mm}^2$ unterteilt. Das resultierende passive Widerstandsnetzwerk besteht aus 5×4 Segmenten. Um sicherzustellen, dass der gesamte Strom durch die 20 Segmente fließt, wird die nicht-segmentierte Fläche mit einer Isolationsschicht versehen. Ein Foto der Messapparatur zeigt Bild 3.7. Die Segmente sind entlang der Mäanderkanäle vom Reaktandeneintritt bis zum Austritt aufsteigend nummeriert. Zur Verdeutlichung der Position der Segmente bezüglich der Strömungsstruktur ist in Bild 3.7 den nummerierten Segmenten das Mäander-Flowfield überlagert dargestellt.

Um den lateralen Stromfluss in der Ebene der Graphitfolie zu verringern, befinden sich zwischen den Segmenten Spalte der Größe $2 \times 30 \text{ mm}^2$. Es besteht somit keine vollständige elektrische Isolation der einzelnen Segmente, da diese über Ecken der Fläche $4 \times 4 \text{ mm}^2$ noch miteinander verbunden sind. Dieser Aufbau ermöglicht eine kostengünstige Fertigung des Widerstandsnetzwerks aus einem einzigen Bauteil.

Auf beiden Seiten der Messapparatur sind jeweils 20 isolierte, gleich lange Kupferdrähte mit einem Durchmesser von 0,15 mm mittig auf den Segmenten kontaktiert. Die Drähte werden durch die Spalte geführt beziehungsweise in den expandierten Graphit eingedrückt, um Höhenunterschiede zu vermeiden. Zum Schutz der Drähte und Kontaktierungen ist auf beiden Seiten der Messvorrichtung jeweils eine weitere segmentierte Graphitfolie angeordnet. Die Drähte dienen der Messung des Spannungsabfalls, der sich einstellt sobald die Segmente von Strom durchflossen werden. Ein 20-Kanal-Datenlogger misst und zeichnet die Potentialdifferenz für jedes Segment auf. Die Messwertaufnahme aller Segmente dauert circa 1 Sekunde.

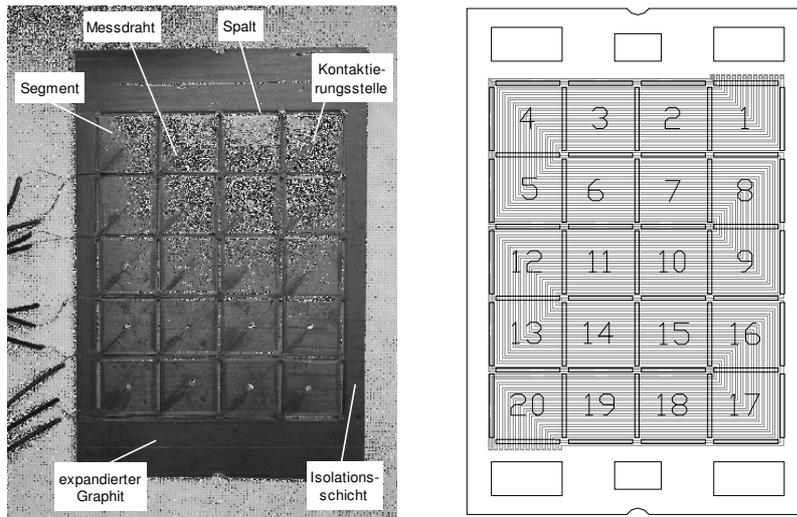


Bild 3.7: Passives Widerstandsnetzwerk zur Stromdichtemessung in Brennstoffzellen

3.2.4 Magnetotomographiemessstand zur Stromdichtemessung

Magnetotomographie ist ein neuartiges Verfahren, um die Stromdichteverteilung in Brennstoffzellen rückwirkungsfrei zu bestimmen. Das folgende Kapitel befasst sich mit der Beschreibung der Messapparatur, die Messmethode ist in Kapitel 3.5.2 beschrieben.

Der in einer Brennstoffzelle fließende Strom erzeugt ein Magnetfeld. Durch die Messung der magnetischen Flussdichte außerhalb der Brennstoffzelle kann auf die Stromdichteverteilung innerhalb der Zelle zurückgeschlossen werden. Den mechanischen Aufbau der Messapparatur zeigt Bild 3.8. Zwei Sensoren (Honeywell HMC2003) messen an den sechs Mantelflächen der Brennstoffzelle jeweils in allen drei Raumrichtungen die magnetische Flussdichte, die in Luft direkt proportional zu der magnetischen Feldstärke ist. Der Messbereich der magnetoresistiven Sensoren liegt zwischen $\pm 200 \mu\text{Tesla}$ bei einer Auflösung von $0,004 \mu\text{Tesla}$ und einem relativen Wiederholbarkeitsfehler von weniger als $\pm 0,2 \%$. Aufgrund des limitierten Messbereichs der Sensoren ist die Gesamtstromstärke, mit der die Brennstoffzellen belastet werden können, auf $<100 \text{ A}$ beschränkt. Bei den untersuchten Brennstoffzellen (siehe Kapitel 3.1) entspricht dies einer maximalen Stromdichte von ungefähr $0,4 \text{ A/cm}^2$.

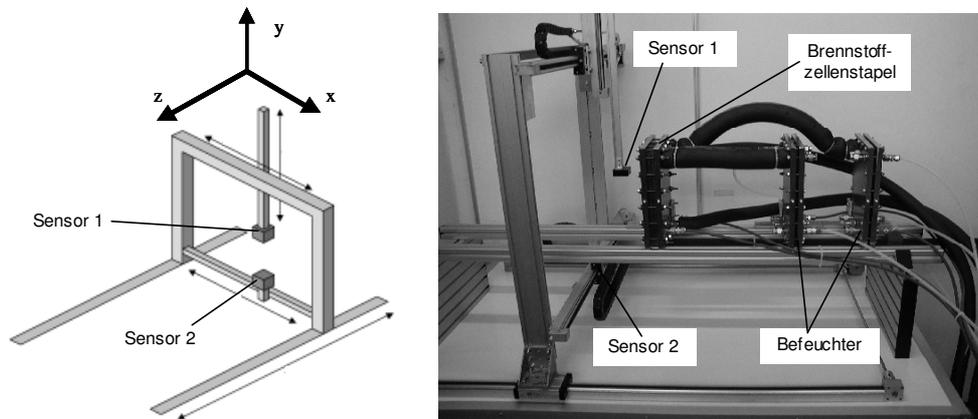


Bild 3.8: Aufbau des Magnetotomographiemessstands

Die Positionierung der Sensoren erfolgt über eine 4-achsige Positioniereinrichtung. Die Sensorführung ist derart gestaltet, dass der erste Sensor die beiden Seitenflächen, die vordere und hintere Stirnfläche und die Dachfläche der Brennstoffzelle abtastet. Der zweite Sensor dient der Messung der magnetischen Flussdichte unterhalb der Grundfläche der Zelle. Die einzelnen Achsen der Positioniereinrichtung werden jeweils mit Hilfe eines Schrittmotors verfahren. Eine spezielle Software, die die Koordinaten der zuvor festgelegten Sensormesspositionen beinhaltet, steuert die Motoren über eine serielle Schnittstelle an. Die gemessenen magnetischen Flussdichten werden digitalisiert, gefiltert und zusammen mit der entsprechenden Sensorposition in einem Datenfile abgespeichert.

Um eine Beeinflussung der Magnetfelder durch feldverstärkende Materialien zu vermeiden, ist die Messapparatur weitgehend frei von ferromagnetischen Werkstoffen ausgeführt. Die Profile und Achsen der Positioniereinrichtung bestehen aus Aluminium, die verwendeten Schrauben aus rostfreiem, nicht-magnetisierbarem Stahl. Die schwach-magnetisierbaren Edelstahlplatten der Brennstoffzellen werden durch nicht-magnetisierbare Platten (Thyssen-Krupp-Nirosta 4565) der gleichen Geometrie ausgetauscht. Zuganker aus Messing ersetzen solche aus Stahl.

Die Brennstoffzelle ist über Stromschienen aus Kupfer mit der elektrischen Last verbunden. Um den Einfluss der Stromschienen auf die Magnetfeldmessungen zu minimieren, werden Hin- und Rückleiter dicht nebeneinander geführt, damit sich deren Magnetfelder gegenseitig kompensieren.

3.3 Dichtigkeitsmessung

Bei den untersuchten Einzelzellen und Short-Stacks kommen unterschiedliche Dichtungskonzepte zur Anwendung. Die vornehmliche Aufgabe der Dichtungen besteht in der sicheren räumlichen Trennung der Medien. Um eine Vermischung zu unterbinden, müssen die Reaktanden sowie das Kühlwasser gegeneinander und zur Umgebung hin abgedichtet sein.