

Ergebnisinterpretation von Leistungsschalteranalysen

Wichtige Prüfungen für die Leistungsschalteranalyse und Interpretation der Messergebnisse: Spulenstromanalyse, dynamische Kontaktwiderstandsanalyse und Bewegungsanalyse

1 Einleitung

Leistungsschalter sind die „Versicherung“ eines jeden elektrischen Energieverteilungsnetzes. Niemand will in die Situation kommen, diese in Anspruch nehmen zu müssen, aber wir müssen trotzdem sicherstellen, dass sie jederzeit für den Tag X bereitstehen. Hierfür sind regelmäßige Wartungsarbeiten notwendig, da nur so der sichere Betrieb von Leistungsschaltern und jenen Anlagenteilen die sie schützen müssen, sichergestellt werden kann.

Moderne und innovative Leistungsschalter-Analysegeräte bieten eine Reihe von Messmethoden an, mit denen mögliche Problembereiche identifiziert werden können.

Dabei wird besonderes Augenmerk auf möglichst zeitsparende Wartungsarbeiten gelegt. Dazu ist es unter anderem notwendig, den Zustand der Leistungsschalter ermitteln zu können, ohne sie zerlegen zu müssen.

2 Die verschiedenen Messungen und deren Aussage

Der wesentliche Punkt einer jeden Leistungsschalteranalyse ist die korrekte Interpretation der Messergebnisse. Bei der Analyse des Zeitverhaltens des Schalters ist dies in der Regel ziemlich offensichtlich. Daher soll dies im folgenden Artikel nicht weiter behandelt werden. Um jedoch die richtigen Schlüsse aus

- der Spulenstromanalyse,
- der dynamischen Kontaktwiderstandsmessung und
- der Bewegungsanalyse

ziehen zu können, ist ein tieferes Verständnis der Vorgänge im Inneren eines Leistungsschalters notwendig.

Diese 3 Methoden werden weltweit erfolgreich für die Zustandsanalyse von Leistungsschaltern eingesetzt. Die Praxis zeigt aber immer wieder, dass die Interpretation der Messergebnisse Fragen aufwirft.

Die **Spulenstromanalyse** an der Auslösespule gibt einen tieferen Einblick in den Auslösevorgang, der zu einem Schließen bzw. Öffnen der Hauptkontakte führt. Deren Analyse gibt wiederum Rückschlüsse auf eine Reihe von Parametern wie zum Beispiel

- die elektrischen Eigenschaften der Spulen (z.B. deren Zeitkonstante)
- die Kraft, bzw. proportional dazu der Strom, der aufgewendet werden muss, um die gespannte Feder „auszulösen“ und
- das zeitlich korrekte Schaltvermögen der Hilfskontakte 52a und 52b.

Die **dynamische Kontaktwiderstandsmessung** ist zusammen mit einer Bewegungsanalyse ein gängiges Verfahren, um die Länge und den Zustand des Abreißkontaktes direkt aus den Messergebnissen heraus bestimmen zu können, ohne dass die Unterbrechereinheit des Leistungsschalters geöffnet werden muss. Der Abreißkontakt unterliegt einer natürlichen Abnutzung, da bei jedem Auslösevorgang unter Last ein Lichtbogen entsteht und dieser einen Teil des Abreißkontaktes verdampfen lässt. Durch diese natürliche Abnutzung ist eine regelmäßige Überprüfung besonders wichtig. Wird eine bestimmte, vom Hersteller vorgegebene Mindestlänge des Abreißkontaktes unterschritten, ist

eine korrekte Funktionsfähigkeit des Leistungsschalters nicht mehr länger gewährleistet und der Schalter muss gewartet werden.

Durch die **Bewegungsanalyse** können Probleme an den mechanischen Komponenten eines Leistungsschalters erkannt werden. Dies sind zum Beispiel defekte Dämpfungselemente, Probleme bei der Speicherung der Bewegungsenergie für das Auslösen oder Schließen (durch eine defekte Feder oder ein undichtes Drucksystem), oder Kontakte, die bereits das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben. Durch das Erkennen dieser Problembereiche können frühzeitig Gegenmaßnahmen eingeleitet werden, die gewährleisten, dass im Fehlerfall der Leistungsschalter die Energieverteilung sicher und zuverlässig schützen kann.

3 Interpretation der Spulenstromanalyse

Bei der Spulenstromanalyse wird der Stromfluss in der Auslöse- oder Einschaltspule während dem Öffnen oder Schließen der Hauptkontakte gemessen und als Kennlinie über die Zeit dargestellt. Zeigt diese Kennlinie Abweichungen der elektrischen Eigenschaften der Spule (Zeitkonstante) sowie der erforderlichen Antriebskraft (proportional zum Strom) und des zeitlichen Verhaltens der Hilfskontakte von den korrekten und erwarteten Werten, so ist dies ein Indikator für elektrische oder mechanische Probleme im Auslöse- bzw. Schließmechanismus des Leistungsschalters. Eine Interpretation der verschiedenen Kurvenabschnitte ist nachfolgend gezeigt.

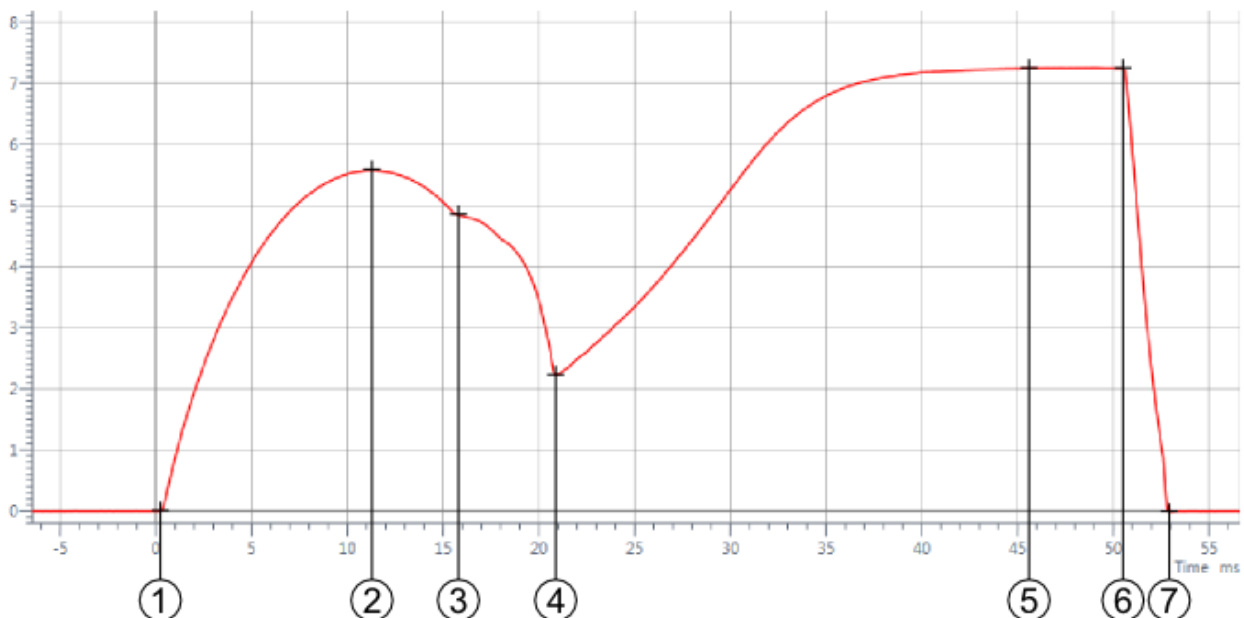


Abb. 1: Typischer Spulenstromverlauf

Bereich 1-2

Zu Beginn dieses Bereiches beginnt der Strom zu fließen, nachdem eine Spannung angelegt wurde. Die Geschwindigkeit des Stromanstiegs ist abhängig von der Spulenimpedanz. Diese hängt wiederum von der Position des Ankers ab, die zwischen Punkt 1 und 2 der Kurve noch statisch ist (siehe Abb. 2). Nach Punkt 2 beginnt der Anker, sich aus der Spule herauszubewegen.

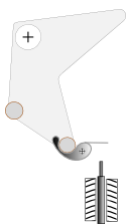


Abb. 2: Spulenzustand zum Zeitpunkt 1

Eine Abweichung des Stromflusses in diesem Bereich zeigt ein Problem mit den elektrischen Eigenschaften der Spule und mit ihrer Strom/Spannungsversorgung. In diesem Zusammenhang ist es wichtig sicherzustellen, dass die Spule auch bei Unterspannung erfolgreich auslöst.

Die Zeitkonstante der Spule (L/R) kann durch Messung der Zeit zwischen Punkt 1 und 2 und des Spitzenstroms zum Zeitpunkt 2 berechnet werden. Weicht die Zeitkonstante der Spule vom Referenzwert ab, so zeigt dies eine Beschädigung der Spule an (z.B. kurzgeschlossene Wicklungen).

Bereich 2-3

Dadurch, dass sich der Anker aus der Spule herausbewegt, reduziert sich durch den Selbstinduktions-Effekt auch der Spulenstrom. Eine langsame Bewegung des Ankers ist ein Indikator, dass Schmiermittel in den falschen Bereich gelangt ist.

Punkt 3

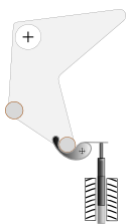


Abb. 3: Spulenzustand zum Zeitpunkt 3

An diesem Punkt stellt der Auslösestift den ersten Kontakt zum Auslösemechanismus her, der bis dahin die gespannte Feder fixiert hat (siehe Abb. 3). Der Anker muss dabei genügend Energie haben, um die mechanische Trägheit des Auslösemechanismus zu überwinden.

Abweichungen werden hier oft durch Öl oder Schmiermittel im Spulenbereich ausgelöst, die eine dämpfende Wirkung auf die mechanische Bewegung haben. Darüber hinaus können über den Verlauf des Spulenstroms in diesem Bereich auch eine ungenaue Anordnung des Auslösemechanismus oder blockierende Gegenstände im Auslösemechanismus sichtbar gemacht werden.

Bereich 3-4

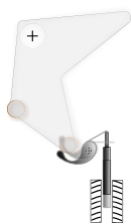


Abb. 4: Spulenzustand im Bereich 3-4

Der Anker gibt die gespannte Feder frei und bewegt sich weiter, bis er seine Endposition erreicht hat (siehe Abb. 4). Der Strom fällt ab, bis der Anker zum Stillstand kommt. Eine Abweichung vom niedrigsten Stromwert zeigt an, dass der Anker aufgrund eines mechanischen Problems seine vorgesehene Endposition nicht erreicht hat.

Bereich 4-5



Abb. 5: Spulenzustand im Bereich 4-5

Nachdem sich jetzt der Anker nicht mehr bewegt, wird keine Gegenspannung mehr induziert und somit beginnt der Strom wieder zu steigen (siehe Abb. 5). Der Stromwert wird nun jedoch höher, da sich durch die Verschiebung des Ankers die Induktivität der Spule geändert hat. Eine Abweichung von der erwarteten Zeitkonstante zeigt auch hier wieder elektrische Beschädigungen in den Spulenwicklungen an.

Punkt 5

An diesem Punkt hat der Strom die Spuleninduktivität überwunden und bleibt ab hier konstant, bis der Hilfskontakt den Stromfluss unterbricht. Eine verfrühte oder verspätete Unterbrechung zeigt an, dass das Zeitverhalten zwischen den Hauptkontakten und den Hilfskontakten (52a und 52b) justiert werden muss.

Punkt 6

Zwischen Punkt 3, an dem der Sperrmechanismus der gespannten Feder gelöst wird, und Punkt 6 werden die Hauptkontakte und mit einer kurzen Verzögerung auch die Hilfskontakte geöffnet.

Bereich 6-7

Zwischen Punkt 6 und 7 wird durch das Öffnen des Hilfskontaktes die Spannung von der Spule genommen und der Anker bewegt sich wieder zurück in die Spule, bis er seine Startposition erreicht hat. Ein langsames Abfallen des Stroms oder gar ein kurzzeitiger Stromanstieg können darauf hindeuten, dass die Ankerbewegung gebremst wurde. Eine starke Abweichung vom Referenzwert deutet auf mechanische Reibung oder eine beschädigte Freilaufdiode hin.

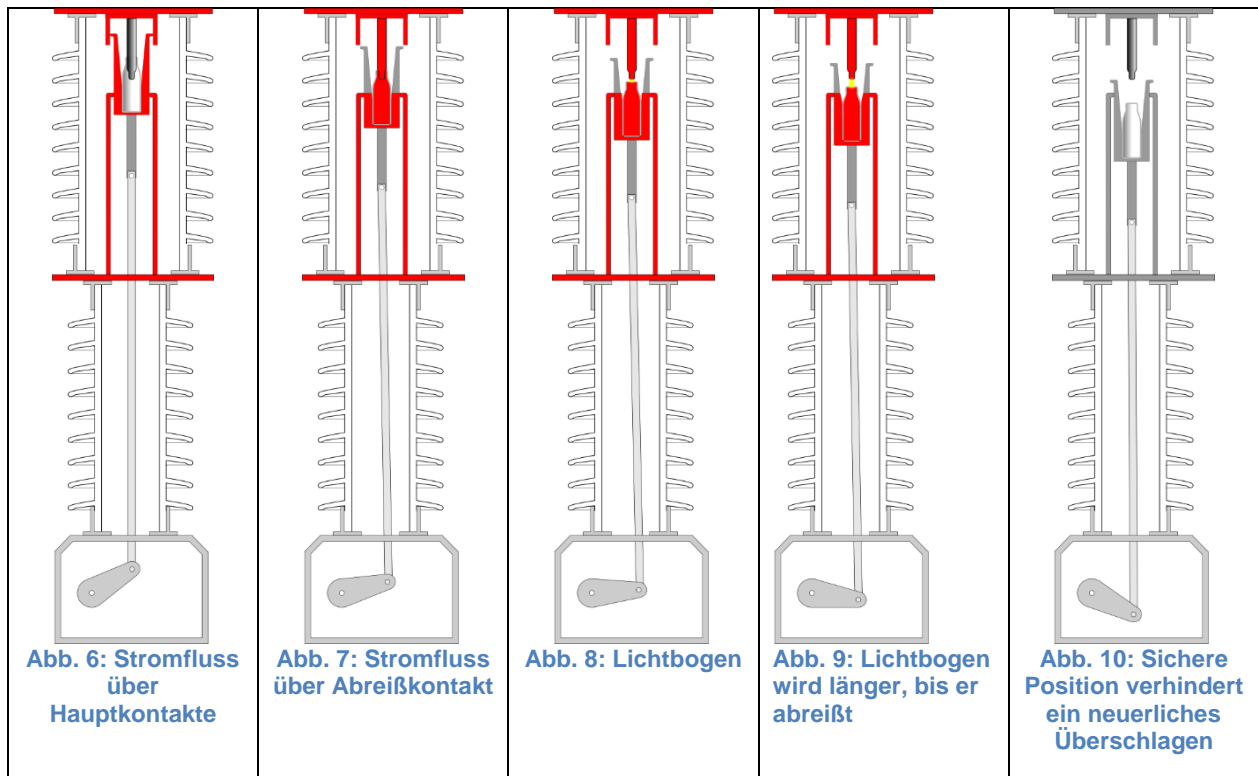
4 Interpretation der dynamischen Kontaktwiderstandsanalyse (DRM)

Gründe für die dynamische Kontaktwiderstandsmessung

Ein weiteres gängiges Verfahren ist die dynamische Kontaktwiderstandsmessung, da diese die Möglichkeit bietet, die Kontaktlänge zu bestimmen, ohne den Leistungsschalter zerlegen zu müssen.

Unterschreitet der Abreißkontakt eine vom Hersteller des Leistungsschalters vorgegebene Mindestlänge, ist ein sicherer Betrieb nicht mehr gewährleistet und die Unterbrechereinheit muss entsprechend gewartet werden.

Hierzu ist es wichtig zu verstehen, wie ein SF₆-Leistungsschalter aufgebaut ist und wie er den Stromfluss beim Öffnen seiner Unterbrechereinheit unterbindet. Die Abbildungen 6 bis 10 zeigen die verschiedenen Phasen einer Öffnen-Sequenz.



Detaillierte Beschreibung einer Öffnen-Sequenz

Ist der Schalter geschlossen, wird der Strom über den sogenannten Hauptkontakt und den Abreißkontakt geführt (siehe Abb. 6). Beim Öffnen werden die Hauptkontakte zuerst getrennt, wodurch der Stromfluss nun nur noch vom Abreißkontakt getragen wird (siehe Abb. 7). Wird einige Millisekunden später auch dieser Stromfad aufgetrennt, so wird der Stromfluss über einen Lichtbogen aufrechterhalten (siehe Abb. 8). Im Nulldurchgang des sinusförmigen Stroms ist die Spannungsfestigkeit zwischen den Kontakten dann hoch genug, um eine Wiederentzündung des Lichtbogens zu verhindern. Die ionisierten Gase verschwinden. Der Lichtbogen ist nun gelöscht.

Die Kontakte bewegen sich schneller auseinander als die sinusförmige Spannung ansteigen kann und erhöhen so die Spannungsfestigkeit. Ein neuerliches Überschlagen zwischen den Kontakten wird also verhindert (siehe Abb. 10).

Der Lichtbogen zerstört bei jedem Auslösen während des Betriebes einen kleinen Teil des Abreißkontaktes. Die Menge des weggebrannten Kontaktmaterials hängt dabei von der Höhe des Stroms ab. Je höher der Strom, desto mehr Material wird vom Abreißkontakt erodiert. Während des Lichtbogens wird der Strom allein durch die Impedanz des Versorgungskreises begrenzt.

Ermittlung der Kontaktlänge

Bei der dynamischen Kontaktwiderstandsmessung wird während des gesamten Öffnungsvorgangs der Unterbrechereinheit des Leistungsschalters kontinuierlich der Kontaktwiderstand gemessen. Dabei wird der Schalter spannungslos geschaltet und während eines Öffnen-Vorgangs eine Widerstandsmessung in 4-Leiter-Technik durchgeführt.

Die dynamische Kontaktwiderstandsmessung findet während der in den Abbildungen 6 bis 10 gezeigten Phasen statt. Während dem Öffnen der Kontakte steigt der Widerstand an und fällt abrupt ab, sobald der Hauptkontakt vollständig geöffnet ist.

Nun ist die einzige Verbindung der Abreißkontakt. Beim Abreißkontakt können starke Widerstandsschwankungen festgestellt werden, die durch Verschmutzung während des Abbrennvorgangs verursacht werden.

Auch hier steigt der Widerstand zum Ende hin stark an, bis er beim Trennen den Messbereich überschreitet und unendlich hoch wird (der Kontakt ist also geöffnet).

Die Ermittlung der Länge des Abreißkontakts erfolgt durch Messung der Zeit zwischen Abbildung 7 und 8 (also der Zeitdauer des Stromflusses über den Abreißkontakt bis zur Unterbrechung). Anhand dieser Zeit wird der tatsächliche Kontaktweg berechnet (siehe Abb. 11).

Die dynamische Kontaktwiderstandsmessung erfolgt normalerweise nicht anhand des Schließvorgangs, da hier zusätzliche mechanische Kräfte zwischen dem Abbrandfinger und dem Abrissrohr wirken und dadurch der gemessene Widerstandswert extremen Schwankungen unterworfen ist.

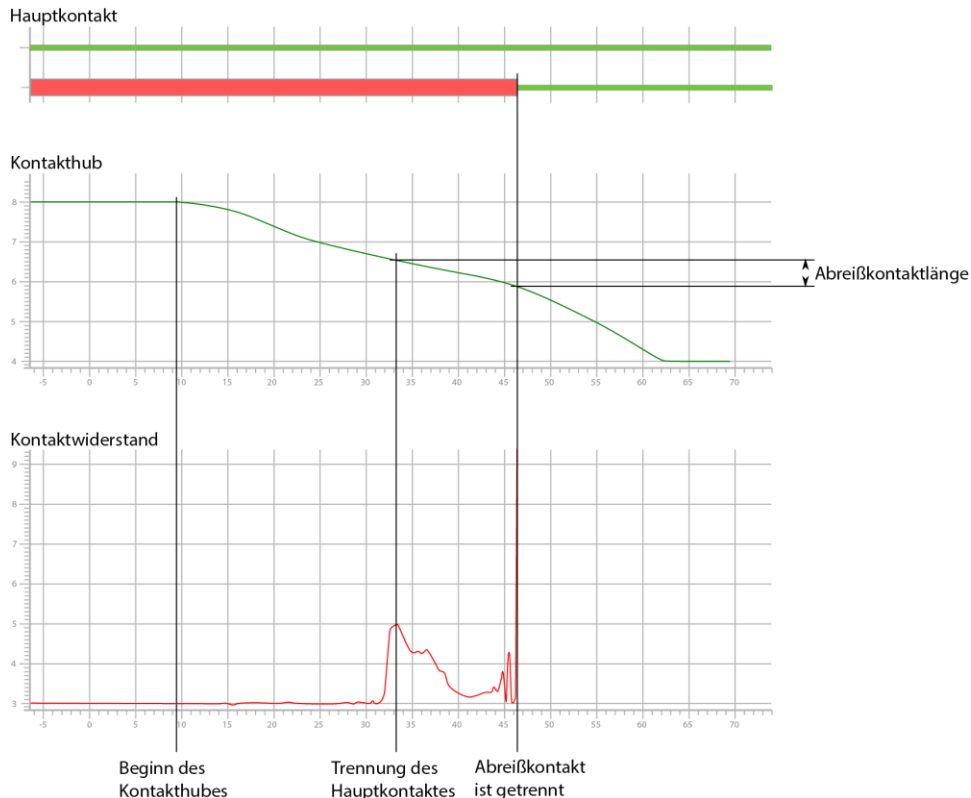


Abbildung 11: Interpretation der DRM-Kennlinie

5 Interpretation der Bewegungsanalyse

Ein Bewegungssensor an der mechanischen Verbindung des Leistungsschalters liefert viele nützliche Informationen. Deshalb wird dringend empfohlen, mit Hilfe dieses Verfahrens eine Bewegungsanalyse des Mechanismus zur Unterbrechung des Stromflusses vorzunehmen.

Für eine Zustandsbewertung der Dämpfungselemente und der Antriebsmechanik des Leistungsschalters sollte auf folgende Dinge besonders geachtet werden: Überschwingen der Kontakte (Amplitude, Dauer), Kontaktthub und Zeitverhalten der Kontakte.

Die Bewegungsanalyse besteht nun darin, die von den LS-Herstellern spezifizierten Referenzdaten mit den Messwerten zu vergleichen.

Nachfolgend sind die Messkurven der drei zuvor erwähnten Parameter gezeigt und beschrieben.

Überschwingen

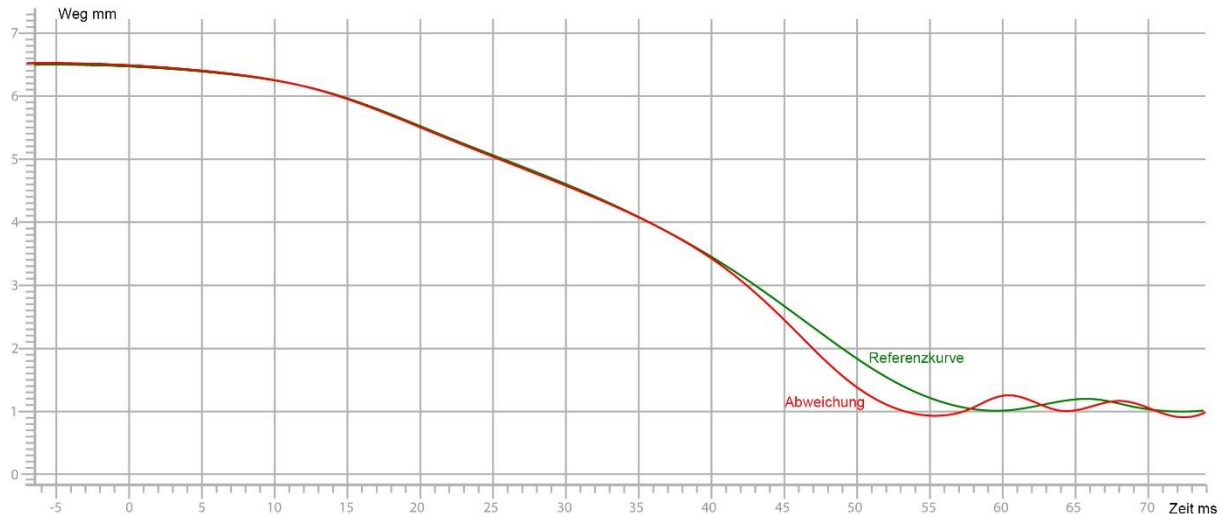


Abbildung 12: Überschwingen

Diese Kennlinie zeigt den Weg der Hauptkontakte als Funktion der Zeit. Übermäßiges Schwingen am Ende der Kennlinie deutet auf ein defektes Dämpfungssystem hin.

Das Dämpfungssystem hat die Aufgabe die sich schnell öffnenden Kontakte nach dem Erreichen eines sicheren Abstands möglichst schonend abzubremsen, um die Mechanik des Schalters nicht zu beschädigen.

Häufig sind diese Systeme wie herkömmliche Stoßdämpfer aufgebaut, wie man sie auch in Autos findet. Deren Dämpfungswirkung ist, wie auch an den aufgezeichneten Kennlinien erkennbar, geschwindigkeitsabhängig und sie sollen verhindern, dass die Kontakte hart auf ihre mechanischen Endpositionen aufprallen.

Kontakthub

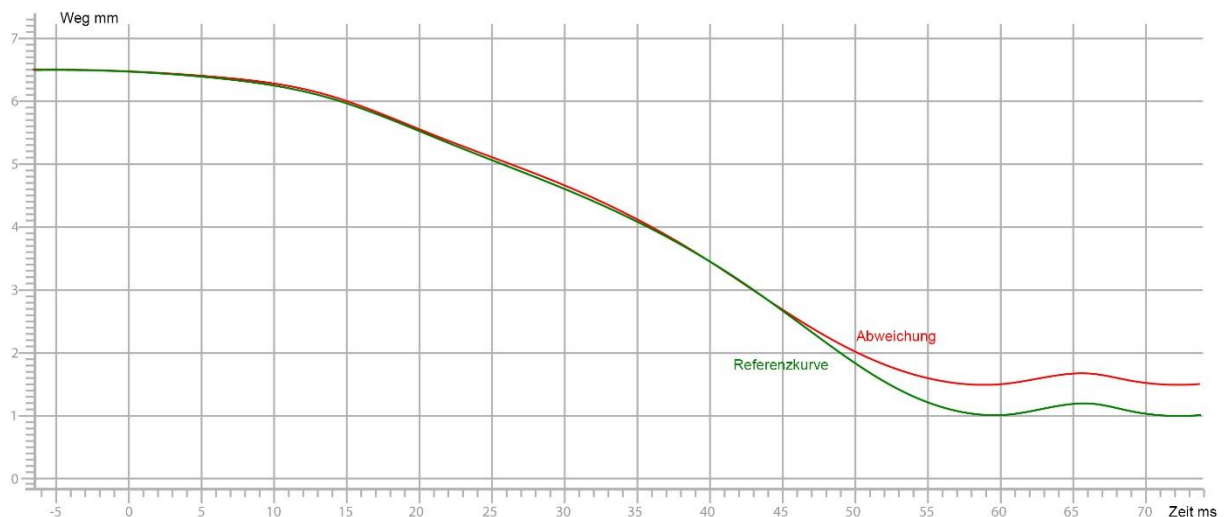


Abbildung 13: Kontakthub

Diese Kennlinie zeigt die Differenz zwischen Start- und Endstellung der Hauptkontakte über die Zeit. Verkürzt sich der zurückgelegte Kontaktweg von einer Messung zur nächsten, so ist dies ein Indikator dafür, dass entweder nicht genügend Energie gespeichert war (defekte Feder oder undichtes Drucksystem) oder dass durch einen erhöhten Reibungswiderstand zusätzliche Bewegungsenergie für die Bewegung erforderlich ist (Korrosion am Leistungsschalter oder dessen Mechanik).

Zeitverhalten

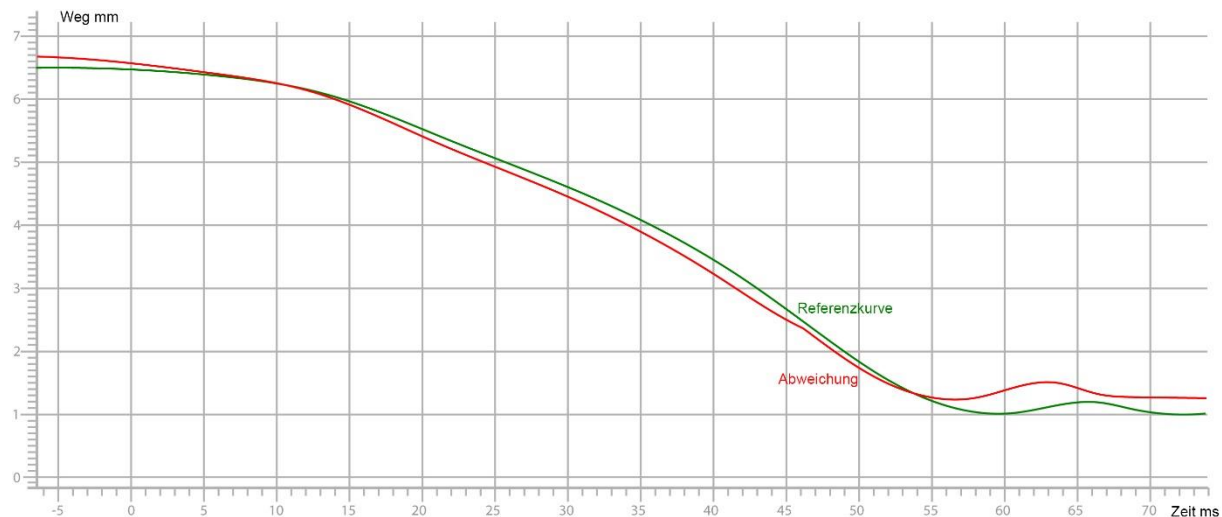


Abbildung 14: Zeitverhalten

Die Kennlinie des Zeitverhaltens zeigt den Weg der Kontakte über die Zeit. Beginnt die Bewegung früher als bei vorhergehenden Vergleichsmessungen, so ist dies ein Hinweis darauf und dass sich die Kontakte abgenutzt haben.

Startet die Bewegung gleichzeitig, ist aber früher abgeschlossen, so ist dies ein Hinweis auf eine Änderung in der Energiebilanz. Es wurde also entweder während der letzten Messung mehr Energie gespeichert (höherer Druck im Drucksystem) oder die Bewegung selbst hat weniger Energie benötigt, als bei vorherigen Messungen (Kontakt zu kurz).

In jedem Fall ist eine exakte Zeitmessung durchzuführen um sicherzustellen, dass sich die Kontakte innerhalb des vom Hersteller spezifizierten Zeitfensters befinden. Tun sie das nicht, muss der Schalter gewartet werden.

Kontakte dürfen nicht zu schnell öffnen, weil sie dann möglicherweise einen anliegenden Kurzschlussstrom nicht aushalten können. Sie dürfen aber andererseits auch nicht zu langsam öffnen, da dies zu einem neuerlichen Überschlagen des bereits gelöschten Lichtbogens führen kann.

6 Zusammenfassung:

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine korrekte Beurteilung der Ergebnisse aus der Spulenstromanalyse, der dynamischen Kontaktwiderstandsanalyse und der Bewegungsanalyse eine Gesamtbeurteilung der wichtigsten elektrischen und mechanischen Eigenschaften des Leistungsschalters ermöglicht. Der Anwender erhält so weitergehende Informationen zu bereits vorliegenden Ergebnissen aus Standardverfahren, wie z.B. der statischen Kontaktwiderstandsprüfung oder einer allgemeinen Zeitmessung. Anhand dieser Informationen ist es erheblich einfacher zu entscheiden, ob ein Leistungsschalter eine Wartung benötigt oder ob er noch betriebsfähig ist.



Andreas Nenning hat einen Abschluss in Automatisierungstechnik und Mechatronik an der FH Vorarlberg in Dornbirn (Österreich). Seit September 2013 ist er Produktmanager des neuen Leistungsschalterprüfsystems CIBANO 500 von OMICRON. Er begann seine berufliche Laufbahn mit einer Ausbildung bei den Stadtwerken Feldkirch (Österreich). Danach machte er seinen Masterabschluss an der FH Vorarlberg in Dornbirn. Anschließend arbeitete er einige Jahre als Anwendungstechniker und Projektleiter im Ausland, bevor er schließlich nach Österreich zurückkehrte und als Produktmanager im Bereich Dezentrale erneuerbare Energien fungierte. Andreas ist Mitglied der Arbeitsgruppe "Cigré Working Group A2.32" (nicht-intrusive Verfahren zur Zustandsbeurteilung von Leistungsschaltern).

OMICRON ist ein weltweit tätiges Unternehmen, das innovative Prüf- und Diagnoselösungen für die elektrische Energieversorgung entwickelt und vertreibt. Der Einsatz von OMICRON-Produkten bietet höchste Zuverlässigkeit bei der Zustandsbeurteilung von primär- und sekundärtechnischen Betriebsmitteln. Umfassende Dienstleistungen in den Bereichen Beratung, Inbetriebnahme, Prüfung, Diagnose und Schulung runden das Leistungsangebot ab.

Kunden in mehr als 150 Ländern profitieren von der Fähigkeit des Unternehmens, neueste Technologien in Produkte mit überragender Qualität umzusetzen. Servicezentren auf allen Kontinenten bieten zudem ein breites Anwendungswissen und erstklassigen Kundensupport. All dies, zusammen mit einem starken Netz von Vertriebspartnern, ließ OMICRON zu einem Marktführer der elektrischen Energiewirtschaft werden.

Eine Übersicht der verfügbaren Literatur finden Sie auf unserer Website.

www.omicronenergy.com