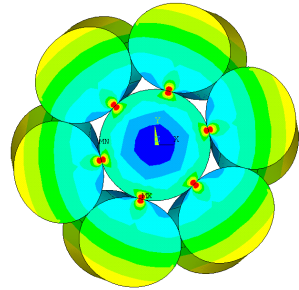


Untersuchungen eines parameterbasierten, einfach verseilten, einlagigen Rundlitzenseilmodells



Leng, M.

Die Geometrie eines Seils wird durch viele Parameter, z.B. Schlaglänge, Schlagwinkel, Schlagrichtung, Durchmesser des Drahtes und Anzahl der Außendrähte beschrieben. Eine beliebige Veränderung dieser Parameter kann die Geometrie und damit die Spannungsverläufe im Seil beeinflussen. Im Rahmen der Seilforschung sind die vorliegenden Spannungsverläufe im Seil von Interesse. Mit Hilfe von APDL (ANSYS Parametric Design Language) können die Einflüsse der Parameter des Seils auf die Spannungsverläufe in ANSYS untersucht werden.

The rope geometry is characterized by many parameters, for example the length of lay, lay angle, lay direction, diameter of the wire and the number of the outer wires. Any change of the parameters can affect the geometry and the stress distribution in a rope. In the research of ropes the stress distribution has a huge importance. With the help of APDL (ANSYS Parametric Design Language) the influences of rope's parameters on Stress behavior can be analyzed in ANSYS.

1 Einflussgrößen auf die Geometrie des Seils

Drahtseile bestehen aus mehreren Litzen, die wiederum aus einzelnen Drähten bestehen. In Bild 1 ist eine Einfachlitze dargestellt, welches aus einem Kerndraht und sechs Außendrähten besteht. Die Relationen zwischen dem Teilkreisradius der Litzenlage, dem Schlagwinkel und der Schlaglänge der Litze folgen aus dem Satz des Pythagoras. Die Summe der Radien von Kern- und Außendraht ist äquivalent zum Teilkreisradius der ersten Lage. Jeder einzelne Parameter kann die Geometrie des Seils beeinflussen. Um die Einflüsse der Veränderung der Parameter auf die Spannungsverläufe im Seil zu ana-

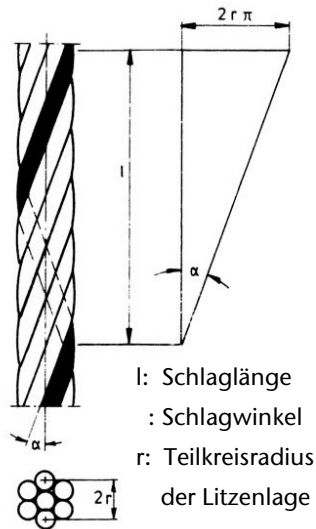


Bild 1: Einlagiges Litzenmodell /1/

lysieren, wurde am Anfang ein parametrisches Einfachlitzenmodell in ANSYS durch APDL erstellt, damit die konstruktiven Änderungen des Litzenmodells schnell und einfach durchgeführt werden können.

Die Querschnitte aller Außendrähte bleiben in einem Schnitt senkrecht zur eigenen Wendel kreisförmig, während die vertikal zur Mittelachse der Litzen liegenden Querschnitte der Außendrähte ellipsenförmig sind. Die Ovalität hängt von dem Schlagwinkel der Litze ab.

In Bild 2 sind die senkrecht zur Mittelachse stehenden Querschnitte der Litze dargestellt, die mit verschiedenen Schlagwinkeln (5° und 30°) modelliert wurden. Mit zunehmendem Schlagwinkel steigert sich die Ovalität des Querschnitts der Außendrähte. Bei konstantem Radius der Außendrähte und einer Steigerung des Schlagwinkels ist der Platz für eine gleichbleibende Anzahl der Außendrähte zu gering. Wie in Bild 2 rechts zu erkennen, durchdringen sich die Außendrähte bei der Modellierung in ANSYS aufgrund der Elliptizität.

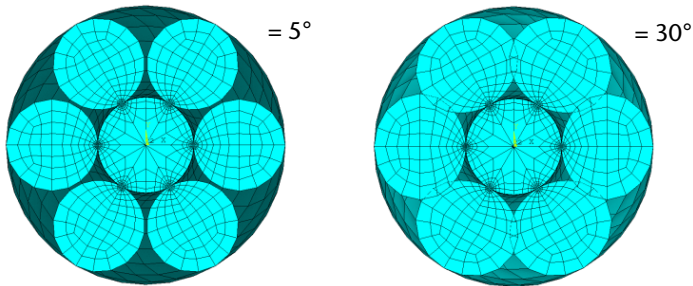


Bild 2: Vergleich zur Elliptizität des Querschnitts der Außendrähte

Die Schlaglänge der Litze wird sich bei einer Vergrößerung des Schlagwinkels entsprechend verkürzen (siehe Bild 3). Die drei Parameter, Schlaglänge, Schlagwinkel und Teilkreisradius der Litzenlage, beeinflussen sich gegenseitig. Bei einer Variation eines beliebigen Parameters werden die anderen sich ebenfalls verändern.

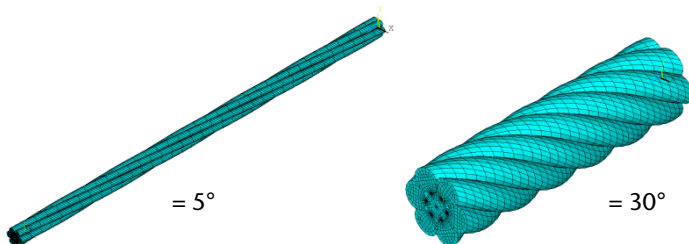


Bild 3: Vergleich zur Schlaglänge mit verschiedenen Schlagwinkeln

2 Einfluss des Schlagwinkels auf die Spannungsverläufe

2.1 Materialverhalten und Randbedingungen

Die Litzenmodelle werden mit einer ganzen Schlaglänge modelliert und für verschiedene Schlagwinkel analysiert. Die Schlagwinkel wurden von 5° bis 30° mit einem Intervall von 5° variiert. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wird die Zugbelastung als axiale Verschiebung und die Torsion als Verdrehung auf die Litze aufgebracht. Die Litzenmodelle werden unter identischen Dehnungen und gleichen Rotationsgraden verglichen. Das Materialverhalten des Litzenmodells ist in Tabelle 1 zusammengefasst.

E-Modul [N/mm ²]	200000
Querkontraktionszahl	0,3
Streckgrenze [N/mm ²]	1200
Zugfestigkeit [N/mm ²]	1715
Bruchdehnung [%]	15%

Tabelle 1: Materialverhalten

Der Durchmesser der Außendrähte aller Litzenmodelle wurde mit 1,08 mm vorgegeben. Der Kerndurchmesser beträgt 1,35 mm. Die Zugbelastung und die Torsionsbelastung wurden jeweils durch eine Verschiebung die einer 0,25% Dehnung von einer Schlaglänge entspricht und eine Verdrehung von 0,09 Radianten definiert. Jedes Litzenmodell wurde unter drei verschiedenen Belastungen untersucht: Zug-, Torsions-, sowie kombinierte Zug- und Torsionsbelastung.

2.2 Auswertung der numerischen Simulationen

Bild 4 und Bild 5 stellen die Vergleichsspannungsverläufe nach von Mises jeweils von Kern- und Außendraht mit dem Schlagwinkel von 30° unter Zugbelastung dar. Die maximalen Vergleichsspannungen entlang der Kontaktstellen zwischen den Kern- und Außendrähten verlaufen kontinuierlich. Bei ausreichender Entfernung von der Einspannung verläuft die Spannung gleichmäßig. Daher werden die Spannungen im Querschnitt immer in der Mitte des Litzenmodells ausgewertet. In Bild 6 sind die Vergleichsspannungen im Querschnitt der Drähte mit dem Schlagwinkel 30° dargestellt. Zwischen den Außendrähten entstanden keine Kontakte. Wie erwähnt, liegen die maximalen Vergleichsspannungen an den Kontaktstellen zwischen Kern- und Außendrähten.

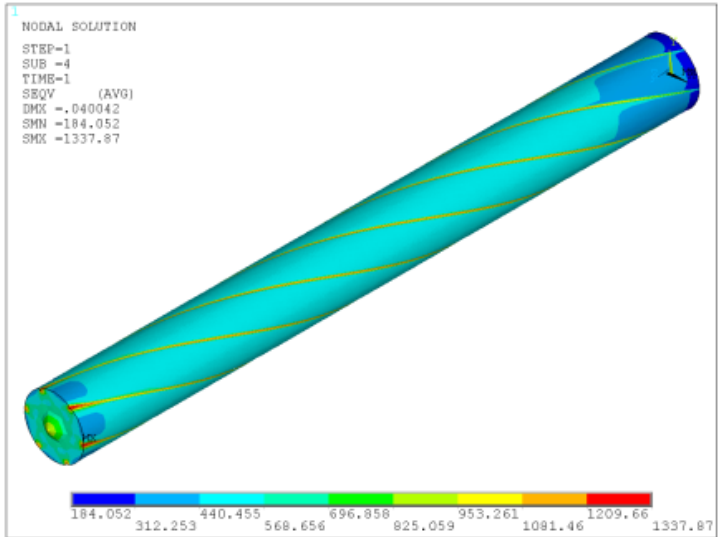


Bild 4: Vergleichsspannung des Kerndrahtes unter Zugbelastung

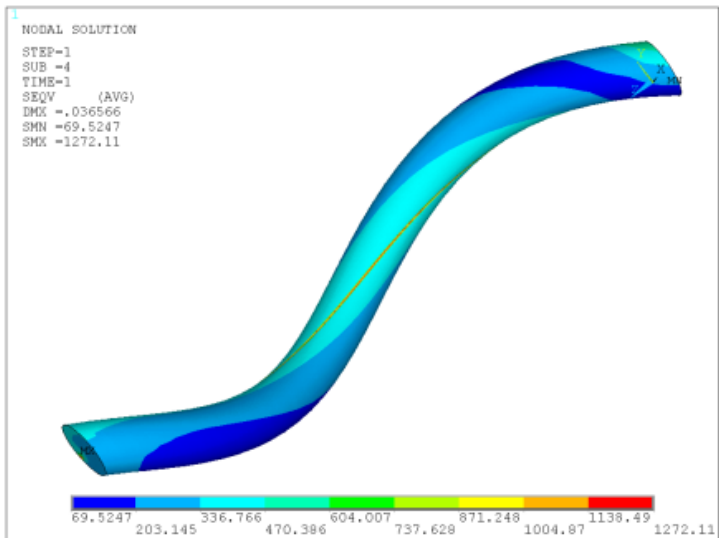


Bild 5: Vergleichsspannung des Außendrahtes unter Zugbelastung

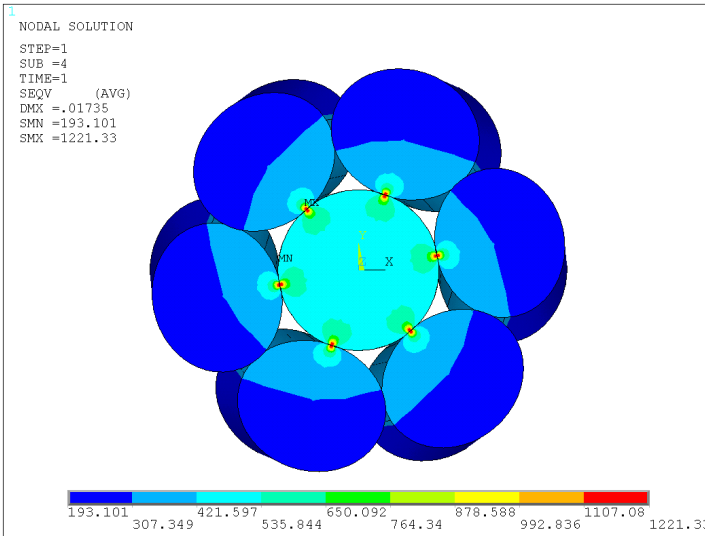


Bild 6: Vergleichsspannung im Querschnitt der Litze unter Zugbelastung

In Bild 7 sind die maximalen Vergleichsspannungen mit zunehmendem Schlagwinkel jeweils für die drei Belastungen dargestellt. Bleibt der Teilkreisradius der ersten Lage konstant, steigt die maximale Vergleichsspannung des Litzenmodells unter identischer Dehnung und gleicher Verdrehung mit zunehmendem Schlagwinkel deutlich an. Die Steigerung zwischen 10° und 15° ist unter Zugbelastung relativ stark. Bei Torsionsbelastung ist der Einfluss des Schlagwinkels bei kleinerem Winkel auf die Spannung gering. Bei Schlagwinkeln größer als 15° ist in den Litzenmodellen eine relativ starke Beeinflussung unter Torsionsbelastung festzustellen. Im Gegensatz zur reinen Torsionsbelastung sind die maximalen Vergleichsspannungen unter Zug- und Torsionsbelastungen deutlich größer. Jedoch gibt es keinen großen Unterschied zwischen der Zug- und kombinierten Zug- und Torsionsbelastung. Es zeigt sich, dass die Beanspruchung des Litzenmodells im Wesentlichen durch die Zugbelastung geprägt wurde.

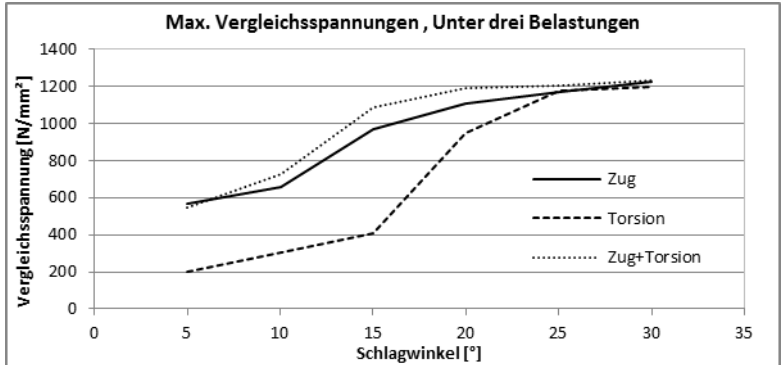


Bild 7: Einfluss des Schlagwinkels auf die max. Vergleichsspannungen

Bild 8 und Bild 9 zeigen die Vergleichsspannungen im Querschnitt der Litzen mit einem Schlagwinkel 30° jeweils unter Torsions- sowie kombinierter Zug- und Torsionsbelastung. Die maximalen Vergleichsspannungen in den Kontaktstellen zwischen Kern- und Außendrähten zeigen nur geringe Veränderungen in Abhängigkeit von der Belastung, während diese im Querschnitt bei den drei Belastungen unterschiedlich sind. Der Außenmantel des Außendrahtes ist unter der Torsionsbelastung sichtbar höher beansprucht.

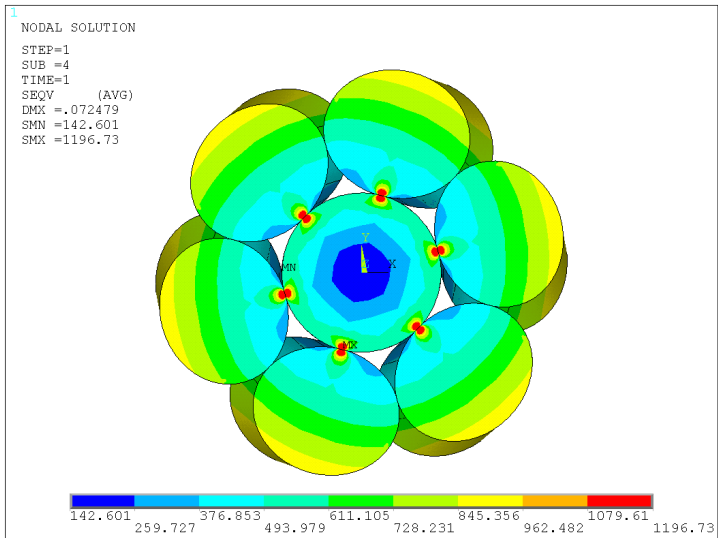


Bild 8: Vergleichsspannung im Querschnitt der Litze unter Torsionsbelastung

In Bild 9 werden zwei Pfade d0 und d1 dargestellt, die durch die Kontaktstelle von Kern- und Außendraht verlaufen. Im Folgenden werden die Einflüsse der unterschiedlichen Schlagwinkel, sowie der verschiedenen Belastungen auf die Vergleichsspannung im Querschnitt verglichen.

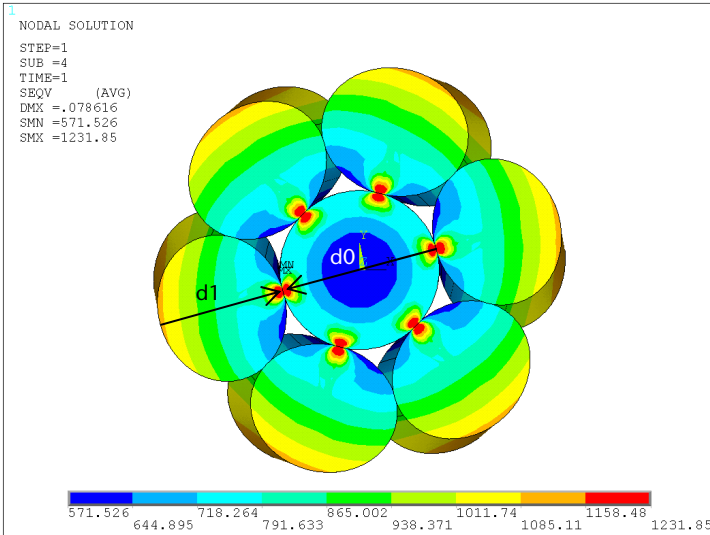
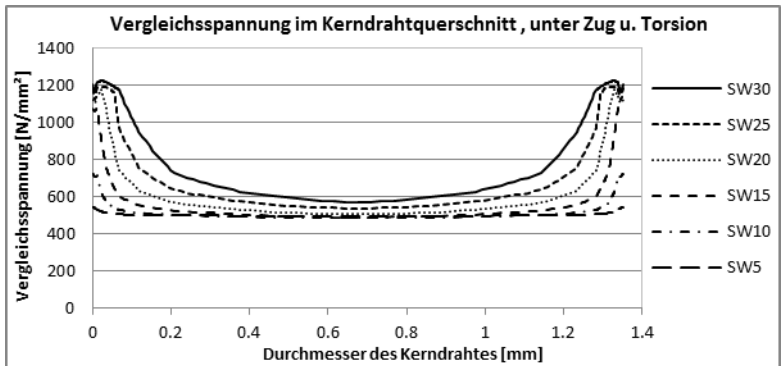
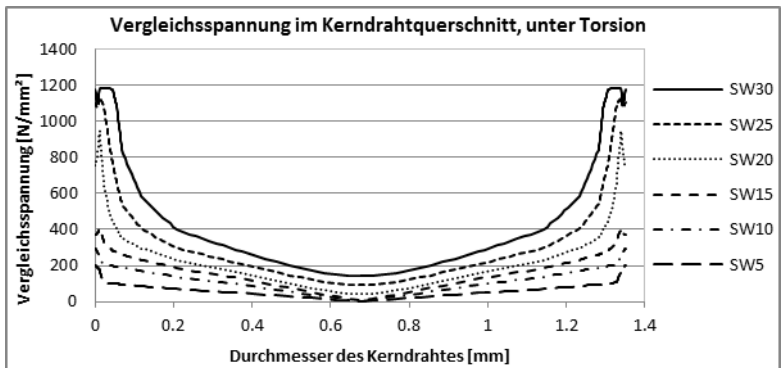
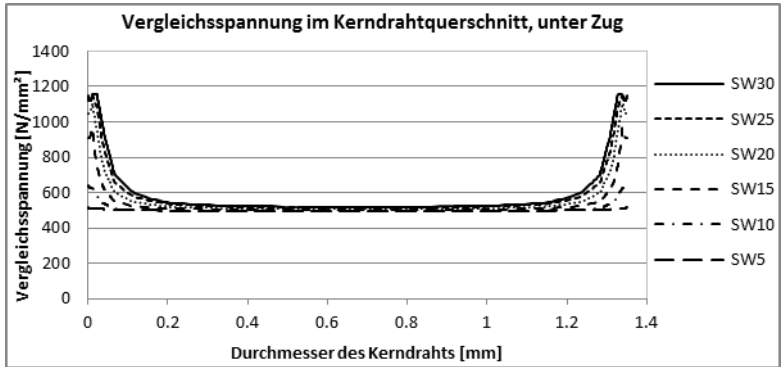


Bild 9: Vergleichsspannung im Querschnitt der Litze unter kombinierter Belastung

In Bild 10 bis Bild 12 sind die Vergleichsspannungsverläufe im Querschnitt des Kerndrahtes über d0 jeweils für die drei Belastungen dargestellt. Die maximalen Vergleichsspannungen befinden sich an den Kontaktstellen zwischen dem Kern- und den Außendrahten, während die Spannung in der Mitte des Kerndrahtes minimal ist. Wie erwähnt, steigen die maximalen Vergleichsspannungen mit zunehmendem Schlagwinkel an. Unter Zugbelastung ist die Differenz der Spannungen von der Drahtmitte zum Drahtmantel gering (Bild 10). Die Gradienten der Spannung im Querschnitt sind jedoch unter der Torsion deutlich größer, besonders wenn der Schlagwinkel größer als 20° ist (Bild 11). Unter der kombinierten Zug- und Torsionsbelastung sind die Spannungsverläufe analog zu den Verläufen unter reiner Zugbelastung und abweichend zum Verlauf bei Torsion (Bild 12). Im Gegensatz zur Torsionsbelastung führt die Zugbelastung im Kerndraht des Litzenmodells zu einer großen Beanspruchung.



Die Vergleichsspannungsverläufe im Querschnitt des Außendrahtes über d_1 sind unter drei Belastungen jeweils in Bild 13 bis Bild 15 dargestellt. Die maximalen Vergleichsspannungen befinden sich im Querschnitt des Außendrahtes bei allen drei Belastungen wie zu erwarten an den Kontaktstellen zwischen den Drähten. Unter der Zugbelastung sind die Spannungen am Außenmantel des Außendrahtes immer am niedrigsten (Bild 13). Die Gradienten der Spannungen nehmen mit steigendem Schlagwinkel merklich zu. Es ist jedoch auffällig, dass sich die Spannung am Außenmantel des Außendrahtes mit zunehmendem Schlagwinkel verkleinert und die Spannung in den Drähten entlang des Pfades d_1 allmählich ansteigt. Es zeigt sich, dass die Spannungen bei einem Abstand von ca. 0,95 mm von der Oberfläche unabhängig vom Schlagwinkel sind (Bild 13, Pfeil). An dieser Stelle weisen die Spannungen aller Litzenmodelle einen identischen Wert auf. Nachfolgend sind die Vergleichsspannungen mit verschiedenen Schlagwinkeln deutlich unterschiedlich im Verlauf. Je größer der Schlagwinkel ist, desto größer ist der Spannungsanstieg.

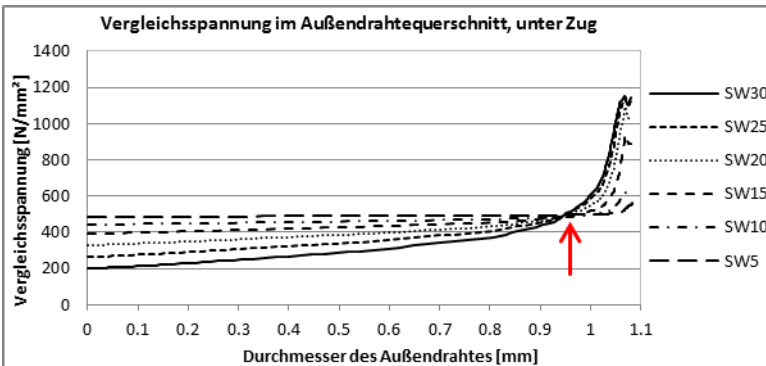


Bild 13: Vergleichsspannung im Außendrahtquerschnitt unter der Zugbelastung

Im Vergleich zur Zugbelastung ist der Einfluss der Torsion auf den Spannungsverlauf am Außenmantel des Außendrahtes erheblich größer. Wie in Bild 14 dargestellt, entsprechen die Spannungen am Außenmantel unter Torsion annähernd den Spannungen an der Kontaktstelle. Unter der kombinierten Belastung haben die maximalen Spannungen im Vergleich zu reiner Zugbelastung leicht zugenommen, während die Spannungsverläufe analog zu denen unter reiner Torsion sind (Bild 15).

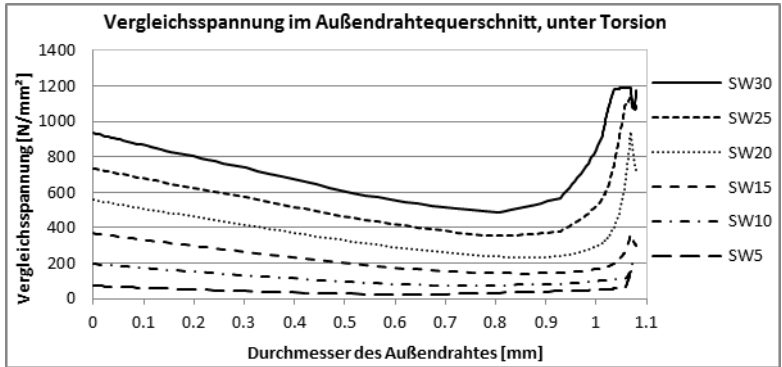


Bild 14: Vergleichsspannung im Außendrahtquerschnitt unter der Torsion

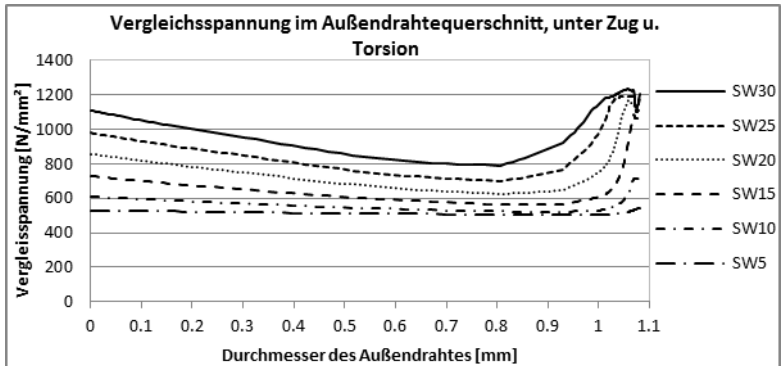


Bild 15: Vergleichsspannung im Außendrahtquerschnitt unter kombinierter Belastung

Um die Spannungen gleicher Querschnitte unter den drei Belastungen zu vergleichen, werden die Vergleichsspannungen im Querschnitt des Litzenmodells mit dem 15° Schlagwinkel auf den beiden Pfaden d_0 und d_1 unter den drei Belastungen jeweils in Bild 16 und Bild 17 gezeigt. Obwohl die Spannungen an den Kontaktstellen unter kombinierter Zug- und Torsionsbelastung am größten sind, liegen die Spannungen in der Mitte des Kerndrahtes unter der Zugbelastung leicht über den Spannungen unter kombinierter Belastung. Die Torsion hat den Gradienten der Spannung leicht vergrößert.

Für die Außendrähte scheint die Vergleichsspannung unter der kombinierten Belastung eine numerische Kombination der Spannung unter reiner Zugbelastung und unter reiner Torsion zu sein (Bild 17).

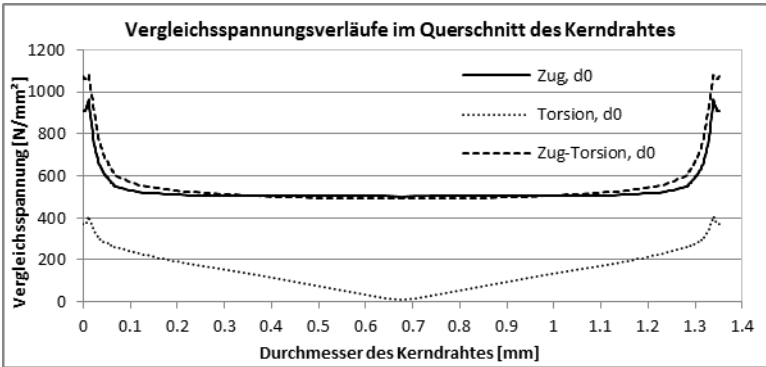


Bild 16: Vergleichsspannungsverläufe im Querschnitt des Kerndrahtes

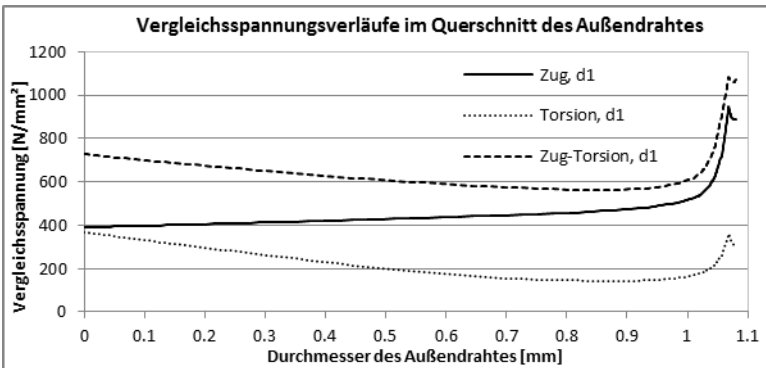


Bild 17: Vergleichsspannungsverläufe im Querschnitt des Außendrahtes

3 Zusammenfassung

Mit Hilfe des FEM-Programms ANSYS wurden die parameterbasierten einlagigen Litzenmodelle mit verschiedenem Schlagwinkel unter den drei unterschiedlichen Belastungen untersucht.

Die maximalen Vergleichsspannungen verlaufen entlang der Kontaktstellen zwischen den Kern- und Außendrähten kontinuierlich und steigen unter identischer Dehnung sowie gleicher Verdrehung mit zunehmendem Schlagwinkel deutlich an. Die Beanspruchung des Litzenmodells wurde im Wesentlichen durch die Zugbelastung geprägt. Unter der Zugbelastung ist die Differenz der Spannungen von der Kerndrahtmitte zum Kerndrahtmantel relativ klein. Die Gradienten der

Spannung im Kerndrahtquerschnitt sind jedoch unter Torsion deutlich vergrößert. Der Außenmantel des Außendrahtes ist unter der Torsionsbelastung sichtbar höher beansprucht.

Im Betrieb der Litze unter Torsionsbelastung herrscht zwischen den Außendrähten gelegentlich auch ein Kontaktdruck, der weiterhin ausgebildet und untersucht wird.

4 Literatur

/1/ Feyrer, Klaus; Drahtseil, Springer-Verlag, 1994

/2/ IFT, Berechnung eines einfachen Seils mit FEM, Uni Stuttgart, 2003