

## NOMEX® TYP 410

NOMEX® Typ 410 ist ein kalandriertes Isolierpapier mit hoher inhärenter Durchschlagfestigkeit, mechanischer Festigkeit, Flexibilität und Rückfederung.

NOMEX® Typ 410 stellt die Standardform von NOMEX® Papier dar und wird in großem Umfang bei einer Vielzahl von elektrischen Geräten angewendet. Mit den zwölf zur Verfügung stehenden Dicken (0,05 bis 0,76 mm) wird NOMEX® Typ 410 in praktisch allen bekannten Anwendungen von elektrischem Flächen-Isoliermaterial eingesetzt.

### Dielektrische Eigenschaften

Die typischen dielektrischen Eigenschaften des NOMEX® Papiers Typ 410 sind in Tabelle I wiedergegeben. Die dort angegebenen Zahlen für die Stoßspannungsfestigkeit entsprechen den Werten, bei denen während eines Zeitraumes von 10 bis 20 Sekunden bei einer Frequenz von 60 Hz kein Durchschlag auftrat. Diese Werte unterscheiden sich von der Langzeit-Durchschlagfestigkeit. Um die Gefahr

## TECHNISCHES DATENBLATT

von Teilentladungen (Korona) zu minimieren, empfiehlt DuPont, mit der Dauer-Spannungsbeanspruchung in Transformatoren nicht über Werte von 1,6 kV/mm hinauszugehen. Die Angaben für die Vollwellen-Impulsstoßfestigkeit in Tabelle I wurden an flachen Bögen gemessen, wie z.B. in Lagen- und Barriere-Anwendungen. Auch die Geometrie der verwendeten Anordnung hat einen Einfluss auf die tatsächliche Impulsfestigkeit des Materials. Die Werte für die Durchschlagfestigkeit sind typische Werte und sollten nicht für die Auslegung verwendet werden. Für die Konstruktion vorgesehene Daten können auf Anforderung bereitgestellt werden.

Wie Bild 1 zeigt, hat die Temperatur nur einen geringen Einfluss auf die Durchschlagfestigkeit und die Dielektrizitätskonstante.

### Bitte beachten Sie:

Die in diesem Datenblatt angegebenen Eigenschaften stellen typische oder Durchschnittswerte dar, die nicht als Grenzwerte für die Spezifikation verwendet werden sollten. Sofern nicht anders angegeben, sind alle Eigenschaften in Luft unter "Norm"-Bedingungen (23°C, 50% relative Luftfeuchtigkeit) ermittelt worden. Beachten Sie, dass NOMEX® Papiere – wie andere Produkte der Papierherstellung auch – in Fertigungsrichtung (MD) etwas andere Werte aufweisen als quer zur Fertigungsrichtung (XD). In bestimmten Anwendungen (z. B. bei Nutenauskleidungen für Motoren) ist es erforderlich, das Papier in der optimalen Richtung zu orientieren, um die bestmögliche Leistung zu erreichen.

Tabelle I – TYPISCHE DIELEKTRISCHE EIGENSCHAFTEN

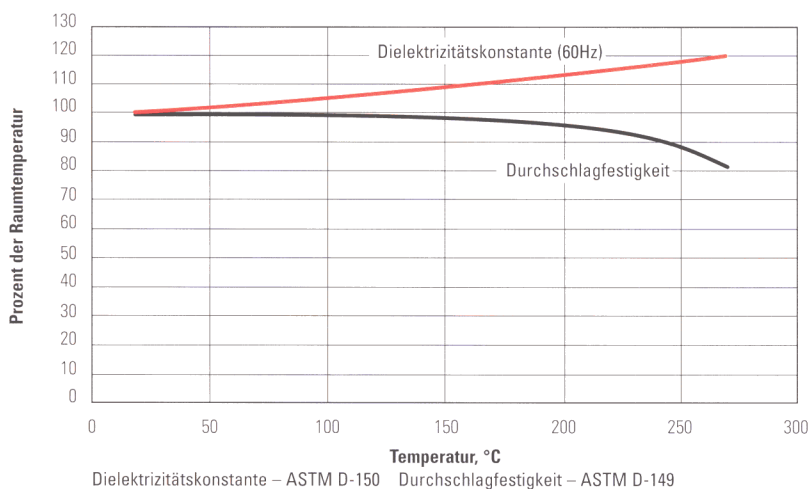
Neendicke (mil) (mm)	2 0,05	3 0,08	5 0,13	7 0,18	10 0,25	12 0,30	15 0,38	20 0,51	24 0,61	25,5 0,65	29 0,73	30 0,76
Durchschlagfestigkeit - Wechselspannungs- Stoßbelastung <sup>1)</sup>												
(V/mil)	430	550	680	840	815	820	830	810	800	730	750	680
(kV/mm)	17	22	27	33	32	32	33	32	31	29	30	27
- Vollwellenimpuls <sup>2)</sup>												
(V/mil)	1000	1000	1400	1400	1600	N/A	1400	1400	N/A	N/A	N/A	1250
(kV/mm)	39	39	55	55	63	N/A	55	55	N/A	N/A	N/A	49
Dielektrizitätskonstante <sup>3)</sup> bei 60 Hz	1.6	1.6	2.4	2.7	2.7	2.9	3.2	3.4	3.7	N/A	3.7	3.7
Verlustfaktor <sup>3)</sup> 60 Hz (x10 <sup>-4</sup> )	4	5	6	6	6	7	7	7	7	N/A	7	7

<sup>1)</sup> ASTM D-149, 50-mm-Elektroden, Stoßbelastung; entsprechend IEC 243-1 Abschnitt 9.1, mit Ausnahme der gleichartigen Elektroden von 50 mm Durchmesser.

<sup>2)</sup> ASTM D-3426

<sup>3)</sup> ASTM D-150

Bild 1 – EINFLUSS DER TEMPERATUR AUF DIE ELEKTRISCHEN EIGENSCHAFTEN VON NOMEX® TYP 410 – 0,25 MM



Frequenzschwankungen bis zu 104 Hz haben praktisch keinen Einfluss auf die Dielektrizitätskonstante von NOMEX® Papier des Typs 410. Die Einflüsse der Temperatur und der Frequenz auf den Verlustfaktor von trockenem Papier des Typs 410 - 0,25 mm sind in Bild 2 wiedergegeben. Die 60-Hz-Verlustfaktoren von dünneren Papieren sind im Temperaturbereich bis zu 200°C im wesentlichen die gleichen wie für 0,25 mm dicke Papiere. Bei höheren Temperaturen und Frequenzen liegen die Verlustfaktoren von dickeren Papieren etwas über den für das 0,25 mm dicke Papier angegebenen Werten.

Die Oberflächen- und Volumen-Widerstände von trockenen NOMEX® Papieren des Typs 410 - 0,25 mm sind in Bild 3 als Funktion der Temperatur angegeben. Die entsprechenden Werte für dickere Ausführungen des NOMEX® Typs 410 sind sehr ähnlich.

Die relativ geringfügigen Einflüsse der Feuchtigkeit (Luftfeuchtigkeit) auf die dielektrischen Eigenschaften des NOMEX® Typs 410 - 0,25 mm sind in Tabelle II wiedergegeben.

Tabelle II – EINFLUSS DER LUFTFEUCHTIGKEIT AUF DIE DIELEKTRISCHEN EIGENSCHAFTEN VON NOMEX® TYP 410 – 0,25 MM

Relative Luftfeuchtigkeit (%)	ofentrocken	50	96
Durchschlagfestigkeit <sup>1)</sup>			
(V/mil)	850	815	780
(kV/mm)	33.5	32.1	30.7
Dielektrizitätskonstante <sup>2)</sup>			
bei 60 Hz	2.5	2.7	3.2
bei 1 kHz	2.3	2.6	3.1
Verlustfaktor <sup>3)</sup>			
bei 60 Hz (x 10 <sup>-3</sup> )	6	6	11
bei 1 Hz (x 10 <sup>-3</sup> )	13	14	25
Spezifischer Durchgangswiderstand <sup>1)</sup> (Ohm.cm)	6x10 <sup>16</sup>	2x10 <sup>16</sup>	2x10 <sup>14</sup>

<sup>1)</sup> ASTM D-149, 50-mm-Elektroden, Stoßbelastung, entsprechend IEC 243-1 Unterabschnitt 9.1, mit Ausnahme der 50-mm-Elektroden

<sup>2)</sup> ASTM D-150

<sup>3)</sup> ASTM D-257

Bild 2 – EINFLUSS DER TEMPERATUR UND DER FREQUENZ AUF DEN VERLUSTFAKTOR VON NOMEX® TYP 410 – 0,25 MM

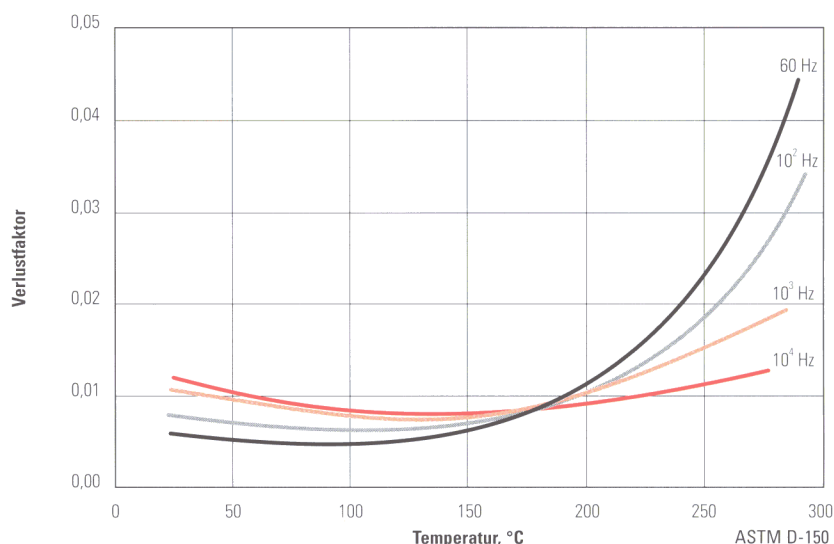
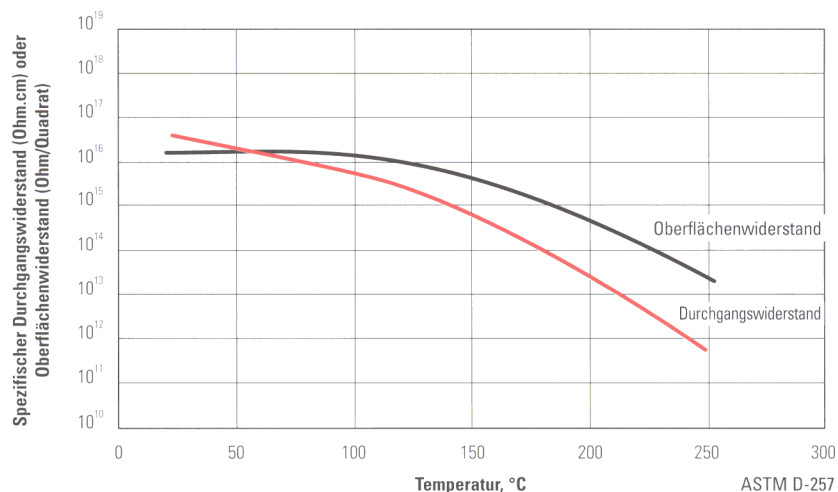


Bild 3 – EINFLUSS DER TEMPERATUR AUF DEN SPEZIFISCHEN WIDERSTAND VON NOMEX® TYP 410 – 0,25 MM



Wie andere organische Isolierwerkstoffen, wird auch NOMEX® Papier durch den Einfluss von Koronaentladungen nach und nach erodiert. Die Wirkung der Koronaentladung ist eine Funktion der Feldstärke, die wiederum fast ausschließlich von konstruktiven Parametern wie dem Abstand zwischen den Stromkreiselementen, scharfen gegenüber weichen Konturen u.s.w. abhängt. Obwohl bei richtig ausgelegten elektrischen Geräten keinerlei Korona während des Normalbetriebs auftritt, kann jedes Gerät bei Auftreten von kurzzeitigen Überspannungen Koronaentladungen ausgesetzt sein. Dabei ist es wichtig, dass die Isolation unter derartigen Bedingungen nicht vorzeitig versagt. Die Spannungsfestigkeit (die Zeit bis zum Ausfall unter Koronaeinwirkung) von NOMEX® Papier Typ 410 ist höher als die anderen, üblicherweise benutzten organischen Isolationsmaterialien und weist sogar im Vergleich mit einigen anorganischen Materialien vorteilhafte Werte auf, wie in Bild 4 gezeigt. Diese Werte wurden in allen Fällen an einzelnen, 0,25 mm dicken Lagen des Materials bei Raumtemperatur, 50% relativer Luftfeuchtigkeit und einer Frequenz von 360 Hz ermittelt. Die Standzeiten bei 50 bis 60 Hz sind etwa sechs bis sieben Mal so lang wie die im Bild angegebenen.

Bild 4 –

## SPANNUNGSFESTIGKEIT VERSCHIEDENER ISOLIERMATERIALIEN, EINZELLAGE NOMEX® TYP 410 – 0,25 MM

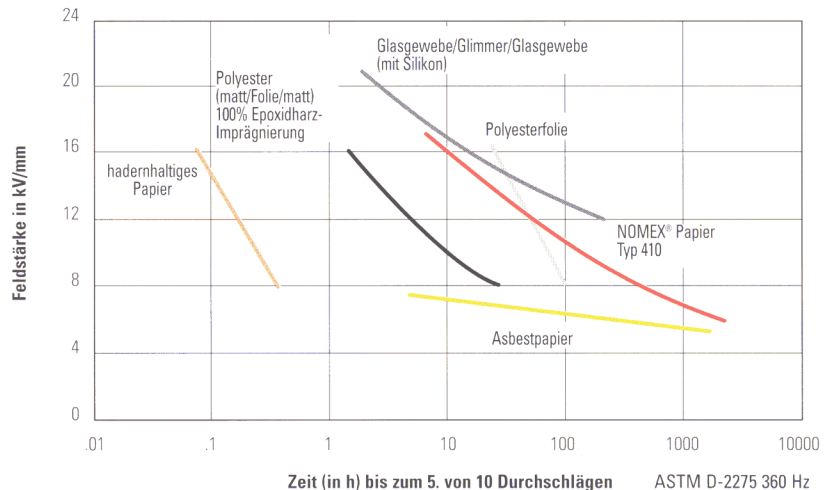


Tabelle III – TYPISCHE MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN

Neandicke (mil) (mm)	2	3	5	7	10	12	15	20	24	25.5	29	30	Prüfverfahren
	0.05	0.08	0.13	0.18	0.25	0.30	0.38	0.51	0.61	0.65	0.73	0.76	
Typische Dicke <sup>1)</sup> (mil) (mm)	2.2	3.1	5.2	7.2	10.2	12.2	15.2	20.3	24.1	25.4	28.7	30.4	ASTM D-374
	0.06	0.08	0.13	0.18	0.26	0.31	0.39	0.52	0.61	0.65	0.73	0.77	
Flächengewicht (g/m <sup>2</sup> )	41	63	116	175	249	309	397	547	693	696	854	847	ASTM D-646
Dichte (g/cc)	0.72	0.80	0.87	0.95	0.96	1.00	1.03	1.06	1.13	1.08	1.17	1.10	
Zugfestigkeit (N/cm)													
MD	39	65	137	219	285	378	459	606	741	758	860	841	ASTM D-828
XD	18	32	66	111	152	196	252	354	497	524	630	595	
Dehnung (%)													
MD	9	11	15	18	19	22	19	20	18	19	16	17	ASTM D-828
XD	6	8	12	14	15	17	14	16	14	16	12	13	
Reißfestigkeit nach Elmendorf (N)													
MD	0.8	1.2	3.4	3.9	6.0	7.4	9.5	14.2	N/A	N/A	N/A	N/A	TAPPI-414
XD	1.6	2.3	5.2	7.4	10.8	14.2	17.2	23.7	N/A	N/A	N/A	N/A	
Einreißfestigkeit <sup>2)</sup>													
MD	11	16	33	50	71	93	116	163	201	209	252	251	ASTM D-1004
XD	6	8	17	27	42	55	74	113	157	159	199	200	
Schrumpfung bei 300°C (%)													
MD	2.2	1.1	0.9	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	0.0	N/A	0.0	0.2	
XD	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

<sup>1)</sup> Verfahren D; 17 N/cm<sup>2</sup>

<sup>2)</sup> Die Daten für die Einreißfestigkeit sind nach ASTM D-1004 in der Probenrichtung angegeben. Der Einriss erfolgt im Winkel von 90° zur Probenrichtung. Deshalb wird sich für Papiere mit einer höheren Einreißfestigkeit in Laufrichtung eine höhere Reißfestigkeit in Querrichtung ergeben.

MD = in Laufrichtung des Papiers  
XD = quer zur Laufrichtung des Papiers

## Mechanische Eigenschaften

In Tabelle III sind die typischen Werte der mechanischen Eigenschaften des NOMEX® Papiers Typ 410 wiedergegeben. Bild 5 zeigt die Einflüsse höherer Temperaturen auf die Zugfestigkeit und die Dehnung. NOMEX® Papiere behalten ihre guten mechanischen Eigenschaften auch bei sehr niedrigen Temperaturen. Am Siedepunkt von flüssigem Stickstoff (−196 °C oder 77 °K) liegt die Zugfestigkeit von NOMEX® Papier des Typs 410 – 0,25 mm (in Abhängigkeit von der Richtung) um etwa 30% bis 60% höher als bei Raumtemperatur, während die Bruchdehnung immer noch über 3% liegt (und damit höher als bei den meisten anorganischen Materialien bei Raumtemperatur). Dies ermöglicht den Einsatz von NOMEX® Typ 410 auch in Tieftemperatur-Anwendungen.

Wasser wirkt als milder Weichmacher für NOMEX® Papier. Der Einfluss von Luftfeuchtigkeit auf die Zugfestigkeit und die Dehnung ist in Bild 6 wiedergegeben. Entsprechend der Dehnung verbessern höhere Feuchtigkeitsgehalte auch die Reißfestigkeit und die Zähigkeit von NOMEX® Papier vom Typ 410.

Die Abmessungen von absolut trockenem NOMEX® Papier des Typs 410, das einer relativen Luftfeuchtigkeit von 95% ausgesetzt wird, wachsen (aufgrund der Feuchtigkeitsabsorption) um etwa 1% in der Laufrichtung und um etwa 2% in der Querrichtung. Diese Quellung ist größtenteils reversibel, wenn das Papier wieder getrocknet wird. Das Ausmaß der auftretenden Änderungen hängt natürlich auch von der Papierdicke und der jeweiligen Anordnung ab (z.B. einzelne Bögen im Vergleich zu fest gewickelten Rollen). Die durch Schwankungen der Luftfeuchtigkeit hervorgerufenen Änderungen führen im Normalfall zu Abmessungsänderungen im Bereich von weniger als 1%. Aber auch kleine Abmessungsänderungen, insbesondere wenn sie nicht gleichförmig sind, können Unebenheit (Durchbiegungen, Beulen u.s.w.) des Bogens hervorrufen oder verstärken, was zu Problemen bei kritischen Verarbeitungsschritten, z. B. beim Laminieren oder Kreppen führen kann. Aus diesem Grunde sollte NOMEX® Papier, das für derartige Anwendungen vorgesehen ist, bis kurz vor der Verarbeitung in seiner Polyethylen-Schutzhülle belassen werden.

Bild 5 –

### EINFLUSS DER TEMPERATUR AUF DIE MECHANISCHEN EIGENSCHAFTEN VON NOMEX® TYP 410 – 0,25 MM

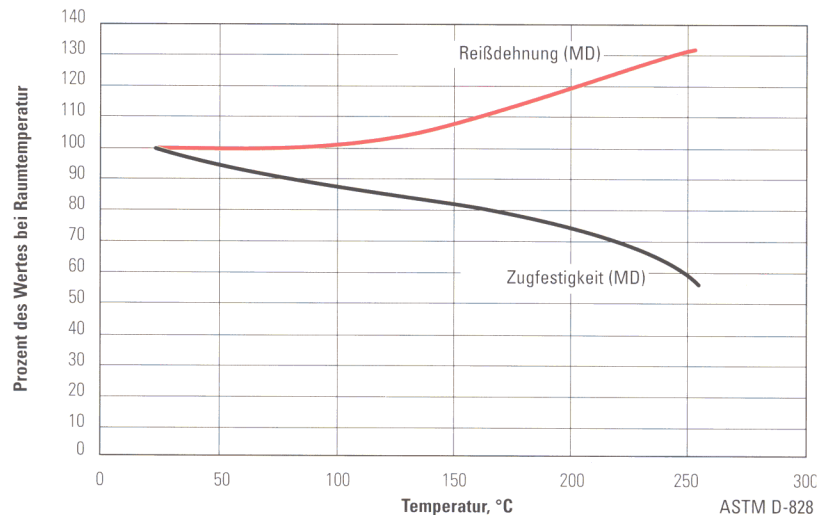
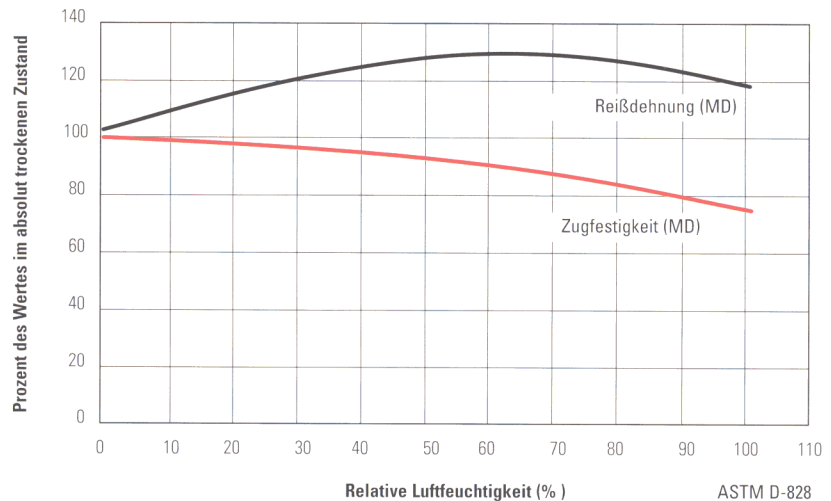


Bild 6 –

### EINFLUSS DER LUFTFEUCHTIGKEIT AUF DIE MECHANISCHEN EIGENSCHAFTEN VON NOMEX® TYP 410 – 0,25 MM





## Thermische Eigenschaften

Die Einflüsse einer langzeitigen Einwirkung hoher Temperaturen auf wichtige elektrische und mechanische Eigenschaften von NOMEX® Papier Typ 410 – 0,25 mm sind in den Bildern 7, 8 und 9 wiedergegeben. Diese Arrhenius-Darstellungen des Alterungsverhaltens sind die Grundlage für die Anerkennung von NOMEX® Papier als 220°C-Isolierung z. B. durch Underwriters Laboratories und die U.S. Navy und werden durch über 35-jährige praktische Erfahrung bestätigt. Diese Kurven lassen sich auch auf höhere Temperaturen extrapolieren. Messungen zeigen z. B., dass NOMEX® Papier vom Typ 410 seine Spannungsfestigkeit von 12 kV/mm auch bei 400°C mehrere Stunden lang beibehält – ein Verhalten, das durch die Arrhenius-Darstellung vorhergesagt wird.

Bild 7 –

### EINFLUSS DER TEMPERATUR AUF DIE LEBENSDAUER VON NOMEX® TYP 410 – 0,25 MM

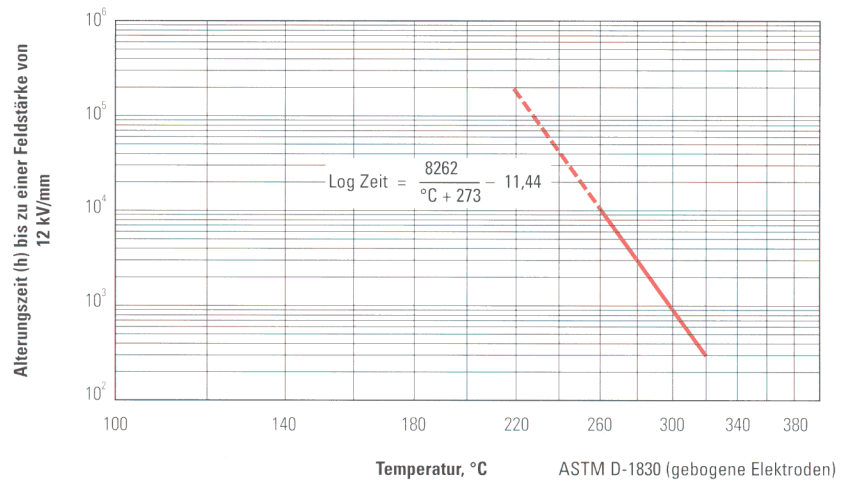
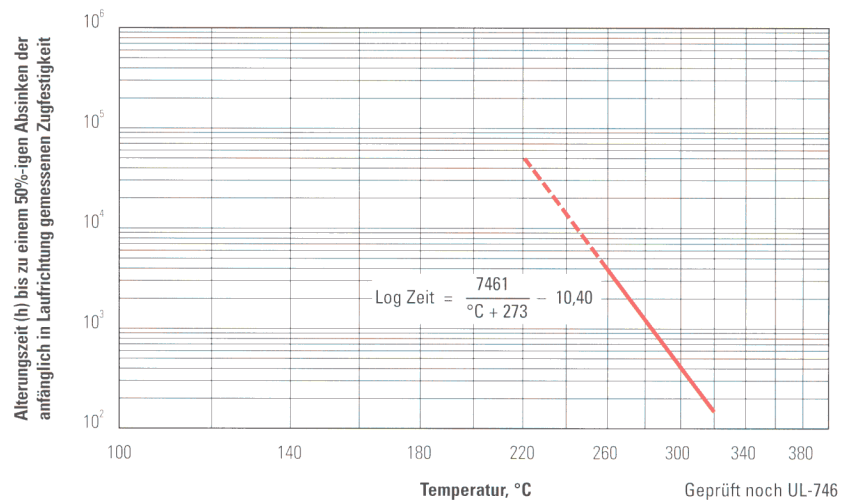


Bild 8 –

### EINFLUSS DER TEMPERATUR AUF DIE LEBENSDAUER VON NOMEX® TYP 410 – 0,25 MM



Die thermische Leitfähigkeit von NOMEX® Papier Typ 410 – 0,25 mm zeigt Bild 10. Die Werte entsprechen in etwa denen von Zellulosepapieren und hängen, wie bei den meisten Werkstoffen, im wesentlichen vom spezifischen Gewicht (der Dichte) ab. Deshalb liegen die Leitfähigkeiten der dünneren NOMEX® Papiere des Typs 410, die etwas weniger dicht sind, geringfügig unter, und die der etwas dichteren, dickeren Ausführungen geringfügig über den in Tabelle IV angegebenen Werten. Auch der Aufbau des Gesamtsystems kann die resultierende Leitfähigkeit beeinflussen, so dass eine gewisse Vorsicht bei der Übertragung von Einzelwerten auf praktische Situationen angebracht ist. Beispielsweise können zwei Isolationslagen mit identischer thermischer Leitfähigkeit auf Grund von Unterschieden in der Steifigkeit oder der Wickelspannung, die den Abstand zwischen den Isolationslagen beeinflussen, durchaus unterschiedliche Einflüsse auf die Wärmeübertragung einer Spule haben.

Bild 9 – EINFLUSS DER TEMPERATUR AUF DIE LEBENSDAUER VON NOMEX® TYP 410 – 0,25 MM

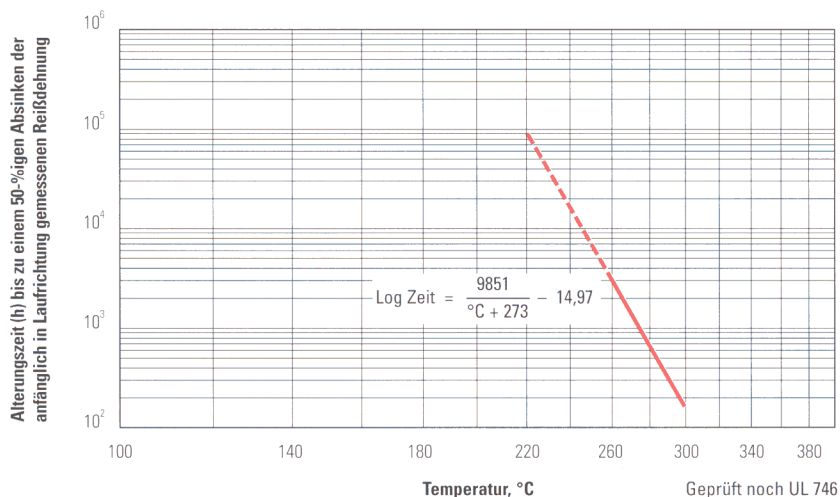


Bild 10 – EINFLUSS DER TEMPERATUR AUF DIE THERMISCHE LEITFÄHIGKEIT VON NOMEX® TYP 410 – 0,25 MM

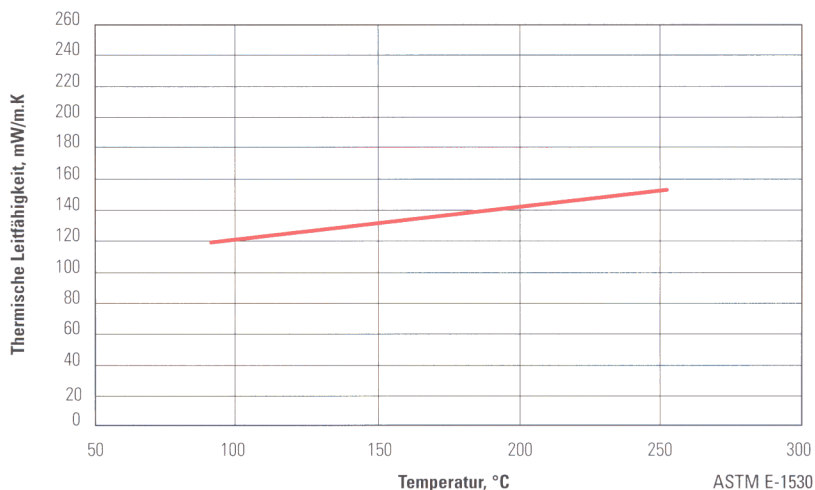


Tabelle IV – THERMISCHE LEITFÄHIGKEIT

Nenndicke (mil) (mm)	2 0,05	3 0,08	5 0,13	7 0,18	10 0,25	15 0,38	20 0,51	30 0,76
Spezifisches Gewicht g/cc	0,72	0,80	0,87	0,95	0,96	1,03	1,06	1,10
Thermische Leitfähigkeit <sup>1)</sup> (mWatt/meter K)	103	114	123	143	139	149	157	175

<sup>1)</sup> Alle Angaben für 150°C

## Chemische Beständigkeit

Die Eignung von NOMEX® Papier und Presspappe für praktisch alle Arten elektrischer Isolierlacke und Kleber (Polyimide, Silikone, Epoxide, Polyester; Acrylate, Phenole, synthetische Kautschuke usw.) sowie mit anderen Komponenten von elektrischen Geräten zeigt sich sowohl durch die vielen durch UL anerkannten Systeme, die NOMEX® enthalten, als auch auf Grund langjähriger praktischer Erfahrungen. NOMEX® Papiere sind ferner voll kompatibel (und in praktischem Gebrauch) mit Transformator-Kühlflüssigkeiten (Mineral- und Silikonöle sowie synthetische Kühlmittel) sowie mit Schmierölen und den in hermetisch gekapselten Systemen verwendeten Kältemitteln. Allgemein gebräuchliche industrielle Lösungsmittel (Alkohole, Ketone, Aceton, Toluol, Xylol) haben, ähnlich wie Wasser, eine leichte erweichende und quellende Wirkung auf NOMEX® Papier des Typs 410. Diese Einflüsse sind im wesentlichen reversibel, wenn das Lösungsmittel entfernt wird.

Der Sauerstoffgrenzwert (Limiting Oxygen Index, LOI) von NOMEX® Papier Typ 410 liegt bei Raumtemperatur zwischen 27% und 32% (je nach Dicke und Dichte) und bei 220°C zwischen 22% und 25%. Werkstoffe mit einem LOI von mehr als 20,8% (in Umgebungsluft) sind nicht verbrennungsunterstützend. NOMEX® Typ 410 muss auf Temperaturen zwischen 240°C und 350°C (wiederum dickenabhängig) erhitzt werden, ehe sein LOI unter die Entflammbarkeitsgrenze abfällt. Bild 11 zeigt die LOI-Werte für den Typ 410 – 0,13 mm.

Der Einfluss von 6400 Megarad (64 MGy) einer 2-MeV-Betastrahlung auf die mechanischen und elektrischen Eigenschaften von NOMEX® Papier des Typs 410 sind in der Tabelle V wiedergegeben. (Zum Vergleich: ein Laminat aus Polyesterfolie und Polyestervlies mit der gleichen Dicke, 100% mit Epoxidharz imprägniert, zerbröckelte nach 800 Megarad oder 8 MGy). Ähnliche Ergebnisse wurden bei der Behandlung mit Gammastrahlung erzielt. Die hervorragende Strahlungsbeständigkeit von NOMEX® Papier hat auch dazu geführt, dass dieser Werkstoff in kritischen Steuereinrichtungen von Kernkraftwerken verwendet wird.

Bild 11 – SAUERSTOFFGRENZWERT (LOI) VON NOMEX® TYP 410 – 0,13 MM

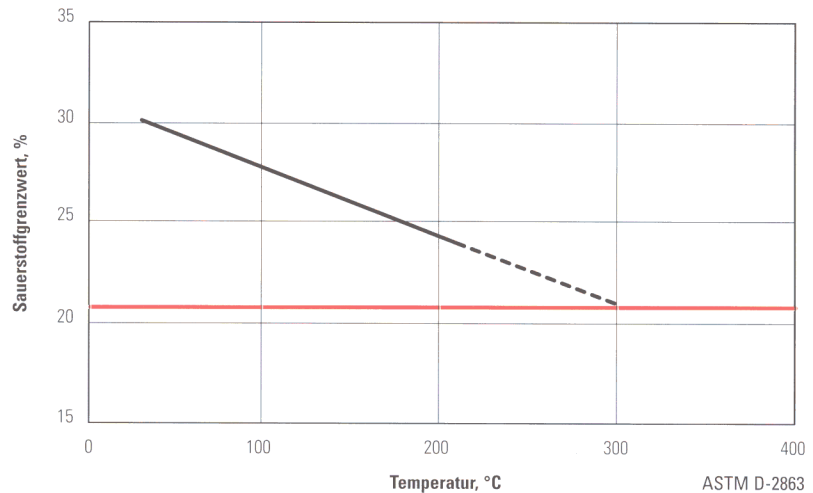


Tabelle V – STRAHLUNGSBESTÄNDIGKEIT VON NOMEX® TYP 410 – 0,25 MM GEGENÜBER 2-MEV-ELEKTRONEN (BETA STRAHLEN)

Dosis (MGy)	0	1	2	4	8	16	32	64
Zugfestigkeit <sup>1)</sup> MD (% des Ausgangswertes) XD	100	96	100	100	94	87	81	65
	100	100	99	99	97	86	81	69
Dehnung <sup>1)</sup> MD (% des Ausgangswertes) XD	100	89	92	96	76	60	36	18
	100	92	91	88	82	47	27	16
Durchschlagfestigkeit <sup>2)</sup> (kV/mm)	34	34	33	33	33	34	35	31
Dielektrizitätskonstante <sup>3)</sup>	60 Hz	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0	3.1	2.5
	1 kHz	3.0	3.0	2.9	3.0	2.9	3.1	2.5
	10 kHz	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8	3.0	2.2
Verlustfaktor <sup>3)</sup> (x 10 <sup>-3</sup> )	60 Hz	8	14	10	12	9	14	10
	1 kHz	13	16	15	16	13	16	11
	10 kHz	18	21	20	20	19	20	15

<sup>1)</sup> ASTM D-828

<sup>2)</sup> ASTM D-149 mit 6,4-mm-Elektrode

<sup>3)</sup> ASTM D-150

DuPont NOMEX®  
Postfach 50  
CH-1218 Le Grand Saconnex  
Genf, Schweiz  
Tel.: ++41 22 717 5111  
Fax: ++41 22 717 6218  
e-mail: info.nomex@che.dupont.com

DuPont NOMEX®  
ARCO Tower  
8-1, Shimomeguro I-chome  
Meguro-ku, Tokyo 153  
Japan  
Tel.: ++81 3 5434 6609  
Fax: ++81 3 5434 6605

DuPont NOMEX®  
1122 New World Office Building  
East Wing  
24 Salisbury Road  
Tsimshatsui  
Kowloon  
Hong Kong  
Tel.: ++852 2734 5363  
Fax: ++852 2734 5486  
e-mail: Sulla-  
S.F.Wan@HKG.dupont.com

DuPont NOMEX®  
Customer Inquiry Center  
5401 Jefferson Davis Highway  
Richmond, VA 23234  
USA  
Tel.: ++1 800 453 8527  
++1 804 383 4400  
Fax: ++1 800 787 7086  
++1 804 383 3963  
e-mail: afscdt@usa.dupont.com

DuPont NOMEX®  
P.O. Box 2200  
Streetsville Postal Station  
7070 Mississauga Road  
Mississauga, Ontario, L5M 2H3  
Canada  
Tel.: ++1 905 821 5193  
Fax: ++1 905 821 5177

[www.dupont.com/nomex](http://www.dupont.com/nomex)

**Informationen über die Produktsicherheit erhalten Sie auf Anfrage.**

Die hier gegebenen Informationen entsprechen unserem derzeitigen Kenntnisstand auf dem beschriebenen Gebiet. Sie dienen lediglich als möglichst hilfreiche Anregungen für Ihre eigenen Versuche. Sie können keine Prüfungen ersetzen, die Sie benötigen, um die Eignung unserer Produkte für Ihre speziellen Anwendungen sicherzustellen. Diese Informationen unterliegen der Überarbeitung, sobald sich neue Erkenntnisse oder Erfahrungen ergeben. Da wir nicht alle Möglichkeiten der Verwendung voraussehen können, übernimmt DuPont keine Gewähr, Haftung oder sonstige Verantwortung im Zusammenhang mit irgend einer Nutzung dieser Informationen. Diese Veröffentlichung begründet keine Lizenz und beabsichtigt nicht die Verletzung etwa bestehender gewerblicher Schutzrechte Dritter.

L-112855-2 02/01

**NOMEX®**  
