



Vectra® LCP

Flüssigkristalline Polymere (LCP)

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung und Überblick	9
2.	Vectra-Sortiment	12
2.1.	Typenbeschreibung	12
2.1.1	Glasfaserverstärkte Typen	12
2.1.2	Kohlefaserverstärkte Typen	12
2.1.3	Füllstoff/Faser-Kombinationen	12
2.1.4	Mineralgefüllte Typen	12
2.1.5	Grafitgefüllte Typen	12
2.1.6	Spezialtypen	12
2.1.7	Medizintypen	13
2.2	Farben	14
2.3	Lieferform	14
3.	Physikalische Eigenschaften	15
3.1	Mechanische Eigenschaften	16
3.1.1	Anisotropie und Wanddicke	16
3.1.2	Verhalten bei kurzzeitiger mechanischer Beanspruchung	18
3.1.3	Verhalten bei langzeitiger mechanischer Beanspruchung	19
3.1.4	Verhalten bei Schlagbeanspruchung	19
3.1.5	Verhalten bei schwingender Beanspruchung	19
3.1.6	Tribologisches Verhalten	20
3.1.7	Dämpfungseigenschaften	21
3.2	Thermische Eigenschaften	21
3.2.1	Dynamisch-Mechanische Analyse (DMA)	21
3.2.2	Wärmeformbeständigkeit	23
3.2.3	Wärmeausdehnungskoeffizient	23
3.2.4	Lötbeständigkeit	24
3.2.5	Thermodynamik, Schmelzwärme	25
3.2.6	Ausgasungsverhalten	26
3.3	Verhalten bei Flammeneinwirkung	27
3.4	Elektrische Eigenschaften	27
3.5	Rheologische Eigenschaften	30
3.6	Zulassungen und Normen	30
3.6.1	Lebensmittelkontakt/Bedarfsgegenstände	30
3.6.2	Trinkwasser-Anwendungen	31
3.6.3	Medizinische/Pharma-Anwendungen	32
3.6.4	Brandklasseneinstufung der Underwriters Laboratories (UL)	32
3.6.5	Brandklasseneinstufung der Canadian Standards Association (CSA)	32
3.6.6	Industriestandards	32
3.6.7	Stoffliche Verwertung	32
4.	Verhalten gegenüber Umgebungseinflüssen	33
4.1	Hydrolyse	33
4.2	Chemikalien- und Lösungsmittelbeständigkeit	34
4.3	Durchlässigkeit für Gase und Dämpfe	36
4.4	Strahlenbeständigkeit	36
4.5	UV- und Witterungsbeständigkeit	36

5.	Verarbeitung	38	Einleitung und Überblick	1
5.1	Sicherheitsempfehlungen	38		
5.1.1	Anfahr- und Abstellprozesse	38		
5.1.2	Brandschutz	39		
5.2	Trocknung	39		
6.	Spritzgießen	41	Das Vectra-Sortiment	2
6.1	Maschinenseitige Voraussetzungen	41		
6.1.1	Allgemeines	41		
6.1.2	Schneckenauslegung	41		
6.1.3	Rückstromsperre	41	Physikalische Eigenschaften	3
6.1.4	Düse	42		
6.1.5	Heißkanalsysteme	42		
6.2	Verarbeitungsbedingungen	43		
6.2.1	Massetemperatur	43		
6.2.2	Einspritzgeschwindigkeit	43	Verhalten gegenüber Umgebungseinflüssen	4
6.2.3	Werkzeugtemperaturen	43		
6.2.4	Schneckendrehzahl	44		
6.2.5	Staudruck	44		
6.2.6	Schneckendekompression	44		
6.2.7	Einspritzdruck	44		
6.2.8	Nachdruck	44	Verarbeitung	5
6.2.9	Zykluszeit	44		
6.3	Mahlgut	44		
6.3.1	Allgemeine Empfehlungen	44		
6.3.2	Ausrüstung	45		
6.3.3	Mahlguteinsatz	45	Spritzgießen	6
6.4	Fehlerkatalog	46		
6.4.1	Sprödigkeit	46		
6.4.2	Brenner	46		
6.4.3	Formteilunregelmäßigkeiten	47		
6.4.4	Verfärbungen	47	Extrudieren	7
6.4.5	Gratbildung	47		
6.4.6	Freistrahlbildung	47		
6.4.7	Rückstromsperre defekt	47		
6.4.8	Düsenprobleme	48		
6.4.9	Unvollständige Formfüllung	48	Design	8
6.4.10	Einfallstellen	48		
6.4.11	Entformungsprobleme	48		
6.4.12	Oberflächenmarkierungen und Schlieren	49		
6.4.13	Verzug, Verformung	49		
6.4.14	Fließnähte, Bindenähte	49	Nachbearbeitung	9
7.	Extrudieren	50		
7.1	Maschinenseitige Voraussetzungen	50		
7.1.1	Allgemeines	50		
7.1.2	Schneckenauslegung	50	Umrechnungs- tabellen	10
7.1.3	Schmelzefilter	50		
7.1.4	Kopf und Düse	50		
			Stichwortverzeichnis	11

7.1.5	Massepumpen	51
7.2	Verarbeitung	51
7.2.1	Folien und Platten	51
7.2.2	Profile	51
7.2.3	Rohre und Schläuche	52
7.2.4	Kabelummantelung	52
7.3	Fehlerkatalog	53
7.3.1	Extrudieren Allgemein	53
7.3.2	Rohre und Schläuche	53
7.3.3	Profile	54
7.3.4	Folien und Platten	54
7.3.5	Ummantelung	54
8.	Design	55
8.1	Formteilgestaltung	55
8.1.1	Wanddicke	55
8.1.2	Fließweglänge	56
8.1.3	Schwindung	56
8.1.4	Entformungsschrägen	56
8.1.5	Verzug	56
8.1.6	Fließnähte, Bindenähte	57
8.1.7	Rippen, Ecken, Radien	57
8.1.8	Durchbrüche und Auskernungen	58
8.1.9	Schnapphaken und Pressverbindungen	58
8.2	Werkzeugauslegung	58
8.2.1	Werkzeugmaterialien	58
8.2.2	Oberflächenbehandlung	60
8.2.3	Kanalsysteme	60
8.2.4	Angusslage	61
8.2.5	Angussgestaltung	61
8.2.6	Angussarten	62
8.2.6.1	Tunnelanguss	62
8.2.6.2	Punktanguss	62
8.2.6.3	Filmanguss	62
8.2.6.4	Ringanguss, Schirmanguss	62
8.2.6.5	Überläufe	63
8.2.7	Entlüftung	63
8.2.8	Entformung	63
9.	Nachbearbeitung	65
9.1	Tempern	65
9.2	Verbindungstechnik	65
9.2.1	Schweißen	65
9.2.1.1	Ultraschallschweißen	65
9.2.1.2	Rotationsreißschweißen	66
9.2.1.3	Spiegelschweißen	66
9.2.1.4	Vibrationsschweißen	67
9.2.1.5	Elektromagnetisches Schweißen	67
9.2.2	Heißumformen	67

9.2.3	Klebeverbindungen	67	Einleitung und Überblick	1
9.2.4	Verbindungselemente	68		
9.2.4.1	Schrauben	68	Das Vectra-Sortiment	2
9.2.4.2	Ultraschall-Inserts	69		
9.3	Dekorieren	71	Physikalische Eigenschaften	3
9.3.1	Bedrucken	71		
9.3.2	Lackieren	72		
9.3.3	Laserbeschriftung	72		
9.4	Metallisieren und MID-Technik	72		
9.4.1	Metallisieren von Vectra	72	Verhalten gegenüber Umgebungseinflüssen	4
9.4.2	MID	74		
9.5	Spanende Bearbeitung	75		
9.5.1	Werkzeuge	75		
9.5.2	Drehen	75		
9.5.3	Fräsen und Bohren	76	Verarbeitung	5
9.5.4	Gewindeschneiden	76		
9.5.5	Sägen	76		
10.	Umrechnungstabellen	77	Spritzgießen	6
10.1	Umrechnungsfaktoren für verschiedene Einheiten	77		
10.2	Umrechnung von Spannungen	77		
10.3	Längenmaßumrechnung	77		
10.4	Temperaturumrechnung	77	Extrudieren	7
11.	Stichwortverzeichnis	78		
			Design	8
			Nachbearbeitung	9
			Umrechnungstabelle	10
			Stichwortverzeichnis	11

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1.1	Vergleich von amorphen, teilkristallinen und flüssigkristallinen Polymeren	9
Tabelle 1.2	Entscheidende Leistungsmerkmale nach Marktsegmenten	10
Tabelle 2.1	Lieferbare Farbkonzentrate	14
Tabelle 3.1.1	Anisotropie der Eigenschaften – 2 mm Dicke	16
Tabelle 3.1.2	Anisotropie der Eigenschaften – 1 mm Dicke	16
Tabelle 3.1.3	Dynamische Reibungszahl μ von Vectra®	20
Tabelle 3.2.1	Dynamisch Mechanische Analyse (DMA)	22
Tabelle 3.2.2	Wärmeausdehnungskoeffizienten von Vectra® (-50 bis 200°C)	23
Tabelle 3.2.3	Dampfphasenlötbeständigkeit von Vectra®	24
Tabelle 3.2.4	Lötbeständigkeit von Vectra® LCP	24
Tabelle 3.3.1	Rauchgasdichte von Vectra® A950	27
Tabelle 3.3.2	Verbrennungsprodukte von Vectra® A950	27
Tabelle 3.3.3	Wärmefreisetzung von Vectra® A950	27
Tabelle 3.4.1	Leitfähige Vectra®-Typen	28
Tabelle 3.4.2	Dielektrische Eigenschaften von Vectra® (nicht metallisiert)	28
Tabelle 3.4.3	Dielektrische Eigenschaften von Vectra® (Gold bedampft)	28
Tabelle 4.2.1	Chemikalienbeständigkeit	34
Tabelle 4.3.1	Sauerstoff- bzw. Wasserdampfdurchlässigkeit verschiedener Polymerfolien	37
Tabelle 4.3.2	Wasserstoffdurchlässigkeit von Vectra®	37
Tabelle 4.4.1	Cobalt-60-Strahlung bei Vectra A950®	37
Tabelle 4.5.1	Eigenschaften von Vectra® nach 2000 h künstlicher Bewitterung	37
Tabelle 5.2.1	Trocknungsbedingungen	40
Tabelle 8.2	Liste ausgewählter Werkzeugstähle	59
Tabelle 9.2.1	Elektromagnetische Schweißnahtfestigkeiten	67
Tabelle 9.2.2	Scherfestigkeiten	68
Tabelle 9.2.3	Typische Klebstoffe für Vectra®	69
Tabelle 9.2.4	Klebstoffe gemäß US-Zulassungsbestimmungen	69
Tabelle 9.2.5	Scherfestigkeiten nach Vorbehandlung	69
Tabelle 9.2.6	Beispiel für Schraubdomabmessungen	69
Tabelle 9.2.7	EJOT PT® K Schraube	70
Tabelle 9.2.8	Leistungsmerkmale von Einpressteilen	70
Tabelle 9.5.1	Werkzeuggeschwindigkeiten beim Bohren und Fräsen	76

Verzeichnis der Abbildungen

Abbild. 1.1	Darstellung der strukturellen Unterschiede zwischen flüssigkristallinen Polymeren und teilkristallinen Polymeren	9
Abbild. 1.2	Preis-Leistungs-Vergleich bei technischen- und Hochleistungs-Kunststoffen	11
Abbild. 2.1	Das Vectra®-Sortiment	13
Abbild. 3.0	Bruchfläche von unverstärktem Vectra®	15
Abbild. 3.1.1	Anisotropievergleich zwischen Vectra® LCP und Celanex® PBT	16
Abbild. 3.1.2	REM-Aufnahme der Faserstruktur	16
Abbild. 3.1.3	Zug-E-Modul in Abhängigk. v. d. Wanddicke	17
Abbild. 3.1.4	Zugfestigkeit in Abhängigk. v. d. Wanddicke	17
Abbild. 3.1.5	Biege-E-Modul in Abhängigk. v. d. Wanddicke	17
Abbild. 3.1.6	Biegefestigkeit in Abhängigk. v. d. Wanddicke	17
Abbild. 3.1.7	Spannungs-Dehnungskurven einiger Vectra®-Typen, Zugversuch, 23°C	18
Abbild. 3.1.8	a) Einfluss der Temperatur auf das Spannungs-Dehnungs-Verhalten, Zugversuch, Vectra® B230 b) Einfluss der Temperatur auf das Spannungs-Dehnungs-Verhalten, Zugversuch, Vectra® E130i	18
Abbild. 3.1.9	Zug-E-Modul in Abhängigk. v. d. Temperatur	18
Abbild. 3.1.10	Zugfestigkeit in Abhängigk. v. d. Temperatur	19
Abbild. 3.1.11	Zug-Kriechmodul, Vectra® E130i	19
Abbild. 3.1.12	Zug-Kriechmodul, Vectra® A130	19
Abbild. 3.1.13	Beanspruchungsbereiche im Dauerschwingversuch	20
Abbild. 3.1.14	Wöhler-Kurven für Vectra®, ermittelt in Fließrichtung im Dauerschwingversuch	20
Abbild. 3.1.15	Reibung und Verschleiß	20
Abbild. 3.1.16	Dämpfungseigenschaften	21
Abbild. 3.1.17	Vibrationsverhalten	21
Abbild. 3.2.1	Dynamisch Mechanische Analyse, Vectra® A130	22
Abbild. 3.2.2	Dynamisch Mechanische Analyse, Vectra® E130i	22
Abbild. 3.2.3	Dynamisch Mechanische Analyse, Vectra® S135	22
Abbild. 3.2.4	Lineare Wärmeausdehnungskoeffizienten von ausgewählten Werkstoffen	23
Abbild. 3.2.5	Prüfkörper für Messung des Ausdehnungskoeffizienten	24
Abbild. 3.2.6	Spezifische Wärme	25
Abbild. 3.2.7	Schmelzwärme	25
Abbild. 3.2.8	Enthalpie	25
Abbild. 3.2.9	Thermische Leitfähigkeit	26
Abbild. 3.2.10	Ausgasungswerte für Vectra® LCP	26
Abbild. 3.4.1	Temperaturabhängigkeit der Dk/tan δ -Werte von Vectra® E820i Pd (Gold bedampft)	29
Abbild. 3.4.2	Frequenzabhängigkeit der Dk/tan δ -Werte einiger Vectra® Typen (Gold bedampft)	29

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

Verzeichnis der Abbildungen

Abbild. 3.5.1	Viskositätsvergleich zwischen Vectra® und teilkristallinem Polymer	30
Abbild. 3.5.2	Viskosität in Abhängigkeit von der Temperatur (glasgefüllt)	30
Abbild. 3.5.3	Viskosität in Abhängigkeit von der Temperatur (ungefüllt)	30
Abbild. 4.1.1	Zugfestigkeit in Abhängigk. v. d. Lagerungsdauer in heißem Wasser	33
Abbild. 4.1.2	Zug-E-Modul in Abhängigk. v. d. Lagerungsdauer in heißem Wasser	33
Abbild. 4.1.3	Zugfestigkeit in Abhängigk. v. d. Lagerungsdauer in Wasserdampf	33
Abbild. 4.1.4	Zug-E-Modul in Abhängigk. v. d. Lagerungsdauer in Wasserdampf	33
Abbild. 4.3.1	Durchlässigkeit verschiedener Polymerfolien	37
Abbild. 6.1.1	Dreizonenschnecke für die Verarbeitung von Vectra® LCP	41
Abbild. 6.1.2	Funktion des Rückstromsperrventils	41
Abbild. 6.1.3	Heißkanalsystem für kleine Bauteile	42
Abbild. 6.1.4	Heißkanalverteiler	42
Abbild. 6.2.1	Verarbeitungsbedingungen	43
Abbild. 8.1.1	Fließweglängen	55
Abbild. 8.1.2	Fließnähte	57
Abbild. 8.2.1	Typischer Verteilerkanal für Vectra® LCP	60
Abbild. 8.2.2	Tunnelanguss	62
Abbild. 8.2.3	Auswerferkralle	64
Abbild. 9.2.1	Gestaltung von Ultraschallschweißverbindungen	65
Abbild. 9.2.2	Ultraschallschweißnahtfestigkeit	66
Abbild. 9.2.3	Gestaltung einer Rotationsreibschweißverbindung	66
Abbild. 9.2.4	Verbindungselemente beim Rotationsreibschweißen von Vectra® A130	66
Abbild. 9.2.5	Vibrationsschweißen	67
Abbild. 9.2.6	Elektromagnetisches Schweißen	67
Abbild. 9.2.7	Schraubdom für EJOT PT® K Schraube	70

1. Einleitung und Überblick

Vectra LCP ist eine Familie von Hochleistungskunststoffen, die aus der patentierten Celanese-Technologie hervorgegangen ist. Sie unterscheidet sich von teilkristallinen Kunststoffen durch ihre besondere Molekularstruktur und besteht aus starren, stabförmigen Makromolekülen, die sich in der Schmelze parallelisieren und flüssigkristalline Strukturen bilden (vgl. Abbild. 1.1).

Das charakteristische Eigenschaftsprofil und Verhalten flüssigkristalliner Polymere ist so unterschiedlich zu dem anderer Kunststoffe, dass LCPs als eigene Polymerklasse zu betrachten sind (vgl. Tabelle 1.1). Dennoch lassen sich alle herkömmlichen Kunststoffverarbeitungsmethoden – wie Spritzgießen, Extrudieren, Koextrudieren, Blasformen usw. – auf diese Werkstoffe anwenden.

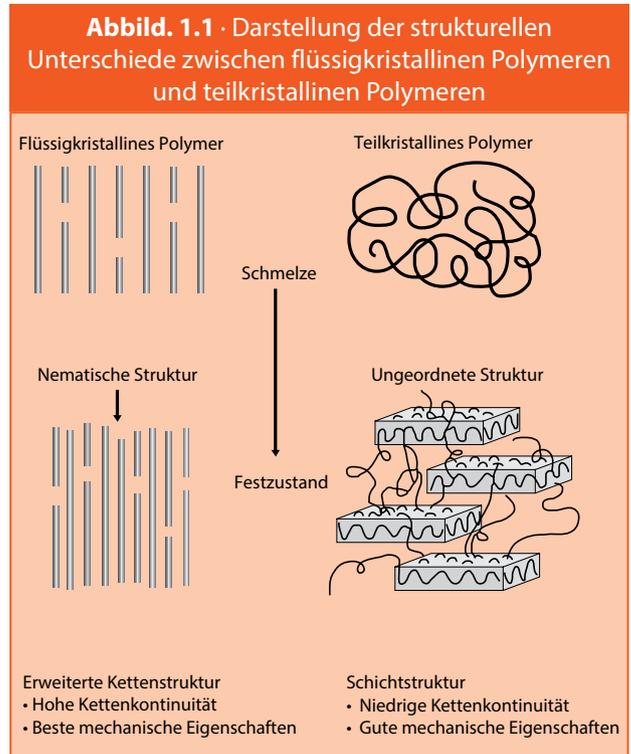


Tabelle 1.1 · Vergleich von amorphen, teilkristallinen und flüssigkristallinen Polymeren

Amorphe Polymere	Teilkristalline Polymere	Flüssigkristalline Polymere
Kein präziser Schmelzpunkt/ allmähliches Erweichen	Relativ präziser Schmelzpunkt	Schmelzen innerhalb eines engen Temperaturbereichs; niedrige Enthalpie
Zufällige Kettenorientierung in festem wie in aufgeschmolzenem Zustand	Regelmäßige Kettenanordnung der Moleküle und wiederkehrende kristalline Struktur nur in der Festphase	Hohe Kettenkontinuität; extrem geordnete Molekularstruktur sowohl in der Schmelze wie in der Festphase
Geringere Fließfähigkeit im Spritzgußverfahren als teilkristalline Polymere	Gute Fließfähigkeit oberhalb des Schmelzpunktes	Extrem gute Fließfähigkeit bei entsprechender Scherung innerhalb des Schmelzbereichs
Glasfasern bzw. Minerale verbessern die Wärmeformbeständigkeit nur geringfügig	Verstärkung erhöht Belastungsfähigkeit und Wärmeformbeständigkeit erheblich, besonders bei hochkristallinen Polymeren	Verstärkung reduziert Anisotropie und erhöht Belastungsfähigkeit und Wärmeformbeständigkeit
Transparente Teile möglich	Teile normalerweise opak wegen kristalliner Struktur	Teile immer opak wegen kristalliner Struktur
Beispiele: Cycloolefincopolymer (Topas® COC), Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS), Polystyrol (PS), Polycarbonat (PC), Polysulfon (PSU), Polyetherimid (PEI)	Beispiele: Polyester (Impet® PET, Celanex® PBT, Duranex™ PBT), Polyphenylsulfid (Fortron® PPS), Polyamid, Polyacetalcopolymer (Hostaform® POM)	Beispiel: Vectra® LCP

Vectra flüssigkristalline Polymere bieten ein ausgewogenes Eigenschaftsbild, wie es von anderen Kunststoffen kaum erreicht werden kann. Sie finden im Allgemeinen wegen einiger entscheidender Schlüsseleigenschaften für spezielle Anwendungen oder Marktsegmente Verwendung (vgl. Tabelle 1.2). Bei der Herstellung elektrischer Steckverbinder empfiehlt sich die Verwendung eines flüssigkristallinen polymeren Werkstoffs beispielsweise wegen der guten Fließfähigkeit bei geringer Wanddicke, der hohen Wärmeformbeständigkeit, Maßhaltigkeit und der inhärenten Flammwidrigkeit. Schlüsseleigenschaften, z. B. für die Verwendung bei chirurgischen Instrumenten, sind hervorragende Fließfähigkeit, Steifheit und Beständigkeit gegenüber Sterilisierstrahlung und -gasen. Eine Anzahl von Vectra-Typen entsprechen den Bestimmungen der USP Class VI sowie Teilen der ISO 10993 (vgl. Abschnitt 3.6).

Vectra-Kunststoffe eignen sich hervorragend für die Verarbeitung im Spritzgießverfahren. Sie bringen kurze Zykluszeiten, gute Fließfähigkeit bei geringen Wanddicken und eine ausgesprochen hohe Dimensionsstabilität mit sich. Die fertigen Formteile zeichnen sich dann durch eine sehr geringe Schwindungs- und Verzugsneigung und eine hohe Temperaturbeständigkeit aus, auch im Hochtemperaturbereich bis 340 °C.

Vectra LCP's können mit herkömmlichen Methoden zu dünnen Folien und mehrlagigen Produkten verarbeitet werden, wobei allerdings in manchen Fällen Verfahrensanpassungen nötig sind. Folien und Platten aus Vectra besitzen ausgezeichnete Formstabilität und außergewöhnliche Sperreigenschaften. Flüssigkristalline Polymere werden in vielen verschiedenen Branchen eingesetzt, von der Elektronik über die Medizintechnik und bis hin zu industriellen Anwendungen.

Neben den genannten, kommen vielen Anwendungen weitere Eigenschaften von Vectra zugute: Niedriger linearer Wärmeausdehnungskoeffizient (CLTE), hohe Chemikalienbeständigkeit, gute Steifheit und Zähigkeit.

Die Leistungsfähigkeit neuerer Vectra-Typen geht über die Anforderungen von dünnwandigen Präzisionsteilen noch hinaus. Attribute wie eine optisch ansprechende Oberfläche mit großer Farbvielfalt, gute Antihafwirkung und Beständigkeit gegen Reinigungsmittel machen Produkte aus dem Vectra-Portfolio auch für traditionelle Einsatzgebiete von Metall, wie die Herstellung von Koch- und Backgeschirr, attraktiv.

Tabelle 1.2 · Entscheidende Leistungsmerkmale nach Marktsegmenten

Elektronik / Elektrotechnik

Gute Fließfähigkeit bei geringer Wanddicke
Dimensionsgenauigkeit
Wärmeformbeständigkeit
Flammwidrigkeit

Technische Fasern

Hochfeste Fasern mit guten Dämpfungseigenschaften
Sehr gute Stich- und Schnittfestigkeit der Fasern
Geringe Abrasion
Geringe Feuchtigkeitsaufnahme

Telekommunikation

Gute Fließfähigkeit bei geringer Wanddicke
Dimensionsgenauigkeit
Festigkeit, Steifigkeit

Verpackung

Hervorragende Barriereigenschaften
Steifigkeit
Festigkeit

Automobilindustrie

Gute Fließfähigkeit bei geringer Wanddicke
Kraftstoffbeständigkeit
Temperaturbeständigkeit
Geringe Ausgasung

Lampenindustrie

Gute Fließfähigkeit bei geringer Wanddicke
Temperaturbeständigkeit
Geringe Ausgasung

Koch- und Backgeschirr

gute Antihafwirkung
Einsatztemperaturen von -196 °C bis +280 °C
Steifigkeit
Verzugsarm
Spülmaschinenfest

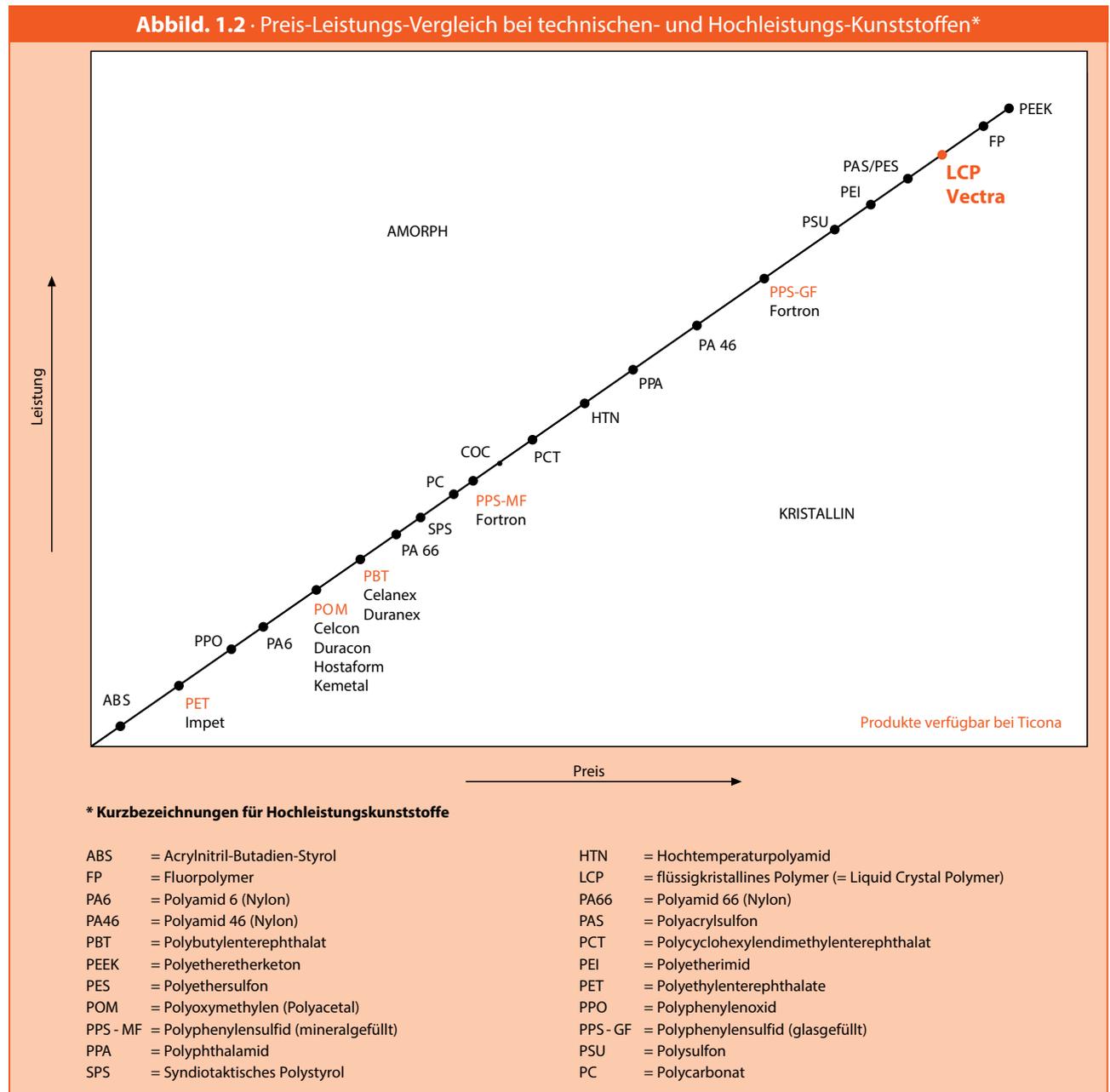
Medizintechnik

Gute Fließfähigkeit bei geringer Wanddicke
Chemikalienbeständigkeit
Sterilisierbarkeit
Steifheit, Festigkeit

Die hohe Festigkeit im Verhältnis zum Gewicht macht Vectra-Kunststoffe zur Ideallösung bei Metallersatz-Anwendungen. Ein Hersteller nadelloser medizinischer Spritzen hat geschätzt, dass durch den Einsatz spritzge-gossener Vectra-Formteile 75% des Gewichts und 50% der Kosten im Vergleich zu automatisch gefertigten Metallteilen eingespart werden können. Verglichen mit weniger kostenintensiven Kunststoffen kürzt das leicht-fließende Vectra die Zykluszeit und viele sekundäre Arbeitsschritte ab und senkt so die Kosten für das ein-zelne Formteil. Außerdem sind einige Vectra-Produkte

nach ihrer UL-Listung für den Einsatz mit bis zu 50% Regenerat ohne wesentlichen Eigenschaftsverlust ge-eignet, wodurch weitere Kosteneinsparungen und Wettbewerbsvorteile ermöglicht werden. Trotz relativ hoch erscheinender Kilogrammpreise ist Vectra aller-dings im Gesamtkostenvergleich anderen Werkstoffen überlegen (vgl. Abb. 1.2). Gegenüber Metalllegierungen, Duroplasten und vielen anderen Thermoplasten erweist sich Vectra daher für viele Anwendungen mit hohen Ansprüchen als die bessere Alternative.

Abbild. 1.2 · Preis-Leistungs-Vergleich bei technischen- und Hochleistungs-Kunststoffen*



2. Das Vectra-Sortiment

Das Vectra-Sortiment basiert auf einer Reihe von Polymeren verschiedener Monomer-Zusammensetzung. Die Polymere unterscheiden sich hinsichtlich Temperaturbeständigkeit, Steifheit, Zähigkeit und Fließfähigkeit. Celanese entwickelt laufend neue Polymere, um den verschiedenen Erfordernissen spezieller Anwendungen Rechnung zu tragen.

Jeder dieser Typen kann ohne Modifizierung für das Extrudieren oder Spritzgießen eingesetzt werden. Bei der Anwendung ungefüllter Polymere im Spritzgießverfahren ist mit einer gewissen Sorgfalt vorzugehen, da es an der orientierten Oberfläche zu Fibrillierscheinungen kommen kann. In der Regel werden die Grundpolymere mit verschiedenen Füll- und Verstärkungstoffen kombiniert. Damit lassen sich die durch den Markt geforderten thermischen, mechanischen, tribologischen und elektrischen Eigenschaftsspektren erzielen.

Abbildung 2.1 gibt einen Überblick über gegenwärtig lieferbare Vectra-Typen.

2.1 Typenbeschreibung

2.1.1 Glasfaserverstärkte Typen

Eine Verstärkung mit Glasfasern erhöht die Steifheit, mechanische Widerstandskraft und Wärmebeständigkeit. Gleichzeitig wird der Grad der Anisotropie reduziert. Vectra ist erhältlich mit 15%, 30%, 40% oder 50% Glasfasergehalt.

Beispiele:

Vectra A130 (30% Glasfaser)
Vectra E130i (30% Glasfaser)
Vectra E480i (40% Glasfaser)
Vectra S135 (35% Glasfaser)
Vectra S150 (50% Glasfaser)

2.1.2 Kohlefaserverstärkte Typen

Die Verstärkung mit Kohlefasern führt verglichen mit Glasfasern zu einer noch höheren Steifheit. Gleichzeitig besitzen kohlefaserverstärkte Verbindungen eine niedrigere Dichte als Glasfasertypen mit vergleichbarem Füllstoffgehalt. Kohlefaserverstärkte Polymere werden eingesetzt, wo höchstmögliche Steifigkeit gefordert ist. Zu beachten ist außerdem, dass kohlefaserverstärkte Typen bedingt elektrisch leitfähig sind.

Beispiele:

Vectra A230D-3 (30% Kohlefaser)
Vectra B230 (30% Kohlefaser)

2.1.3 Füllstoff/Faser-Kombinationen

Produkte mit diversen Füllstoff/Faser-Kombinationen bilden ein weiteres Standbein im Vectra-Portfolio und finden vielfältige Einsatzmöglichkeiten. Die PTFE- und Glasmodifizierten Typen werden für Reibungs- und Verschleißanwendungen eingesetzt, während Glas-Mineral-gefüllte Produkte für Anwendungsbereiche ausgewählt werden, bei denen sowohl eine ansprechende Oberfläche als auch eine verbesserte Steifigkeit gefragt sind.

Beispiele:

Vectra A430 (PTFE)
Vectra A435 FDA (Glasfaser, PTFE)

2.1.4 Mineralgefüllte Typen

Für mineralgefüllte Typen ist eine hohe Schlagzähigkeit und Bruchdehnung im Vergleich zu glasfaserverstärkten Typen charakteristisch. Darüber hinaus verfügen sie über eine ansprechende Oberflächenqualität sowie eine gute Fließfähigkeit. Mineralgefüllte Vectra-Produkte sind mit 40% Füllstoffanteil erhältlich.

Beispiele:

Vectra E540i (40% Mineral)
Vectra S540 (40% Mineral)

2.1.5 Grafitgefüllte Typen

Grafitflocken verleihen den damit gefüllten Kunststoffen eine erhöhte Schmierfähigkeit und außergewöhnlich gute Hydrolyse- und Chemikalienbeständigkeiten.

Beispiele:

Vectra A625 (25% Grafit)
Vectra S625 (25% Grafit)

2.1.6 Spezialtypen

Elektrisch leitfähiger Ruß prädestiniert folgende Produkte besonders für antistatische Anwendungen.

Beispiele:

Vectra A230D-3 (Kohlefaser, leitfähiger Ruß)
Vectra A700 (Glasfaser, leitfähiger Ruß)
Vectra A725 (Grafit, PTFE, leitfähiger Ruß)

Abbild. 2.1 · Das Vectra®-Sortiment			
Glasfaserverstärkt	A115		
	A130		E130i S135
			E480i S150 E150i
Kohlefaserverstärkt	A230D-3	B230	
Faser-/Füllstoff-modifiziert	A430		E440i
	A435 FDA		E471i S471 E473i S475
Mineralgefüllt			E540i S540
Grafitgefüllt	A625		S625
elektr. leitfähig	A700 A725		
Galvanisierbar			E820i E820i Pd E840i LDS
Blend	V140		V143XL
Extrudierbar (ungefüllt)	A950		V400P
Vectra Basispolymere			
A-Polymer	– Standardpolymer beste Allroundeigenschaften		Ei-Polymer
B-Polymer	– höchste Steifigkeit		– Standardpolymer sehr gute Fließfähigkeit SMT-Lötfähigkeit
			S-Polymer
			– höchste Temperaturbeständigkeit sehr gute Fließfähigkeit SMT-Lötfähigkeit

Speziell für stromlose Beschichtungen, EMI/RFI-Abschirmungen, Leiterplatten und MID-Komponenten mit integrierten Schaltkreisen wurden nachstehende Typen entwickelt.

Beispiele:

Vectra E820i (Mineral)

Vectra E820i Pd (Mineral, katalysator)

Vectra E840i LDS (Mineral, katalysator)

2.1.7 Medizintypen

Ein weiterer Baustein des Vectra-Portfolios sind Medizintypen, die nach den gängigen Anforderungen der Medizin- und Pharmaindustrie geprüft sind. Sie sind mit verschiedenen Füllstoff-Varianten zum vielseitigen Einsatz erhältlich.

Beispiele:

MT1300 (ungefüllt)

MT4310 (30% Glasfaser)

MT4350 (40% Mineral)

2.2 Farben

Die Naturfarbe von Vectra ist beige oder elfenbeinfarben. Grafit-, Ruß- und Kohlefaser gefüllte Typen sind entsprechend schwarz oder anthrazitfarbig.

Die attraktive Oberfläche von Vectra bietet darüber hinaus die Möglichkeit, Sichtteilen eine ansprechende Farbgebung zu verleihen. Die leichte Einfärbbarkeit wird außerdem zur Erkennbarkeit und Kennzeichnung diverser Komponenten genutzt. Allerdings eignet sich Vectra LCP nicht für eine exakte Farbabstimmung mit anderen Materialien.

Konzentrierte Farbvormischungen mit hohem Pigmentgehalt (Masterbatch) sind in vielen verschiedenen Farbrichtungen lieferbar (vgl. Tabelle 2.1). Diese Konzentrate werden in Granulatform geliefert und werden während der Verarbeitung zugesetzt. Farbkonzentrate sind sowohl auf „A-“ und „Ei“- sowie auf „S“-Polymerbasis erhältlich und sind durchweg kadmiumfrei.

Tabelle 2.1 · Lieferbare Farbkonzentrate		
A9500 / E9500i		
Farbnummer	Standardmischverh.	Farbe
VD3003K20	20:1	Schwarz
VA3031K20	20:1	Weiß
VG3010K20	20:1	Blau
VJ3040K10	10:1	Emerald-Grün
VL3021K10 (A9500)	10:1	Gelb
VL3043K10 (E9500i)	10:1	
VS3033K10	10:1	Pink
VS3035K10	10:1	Rot

Für Vectra „A“ und „B“-Typen sollte Farbkonzentrat A9500, für „Ei“-Typen E9500i verwendet werden. Für Vectra-Produkte auf Basis von „S“-Polymer ist derzeit standardmäßig nur eine Einfärbung mit S9500 in schwarz möglich. Bei speziellen Anfragen steht der Informations-Service der Celanese zur Verfügung.

Die letzten beiden Stellen der Konzentrat-Kennziffer geben jeweils das empfohlene Mischungsverhältnis Naturgranulat zu Farbkonzentrat an, z.B.:

VJ3040K10 = 10:1 (9 Teile Granulat: 1 Teil Masterbatch)

VA3031K20 = 20:1 (19 Teile Granulat: 1 Teil Masterbatch)

Niedrigere Konzentrationen sind möglich, sofern der gewünschte Farbeffekt es fordert. Höhere Mischverhältnisse der Konzentrate sind wegen der bei zu hoher Beladung zu erwartenden Veränderungen der Materialeigenschaften oder/und der Fließfähigkeit nicht empfehlenswert.

Über die Einfärbung mit Farbkonzentraten hinaus besteht ebenfalls die Möglichkeit, Vectra-Produkte ggf. masseeingefärbt zu erhalten. Weiterführende Informationen hierzu erteilt der Technische Service.

2.3 Lieferform

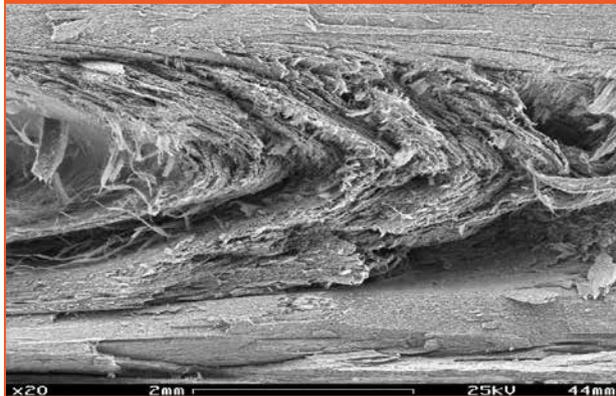
Die übliche Verpackungseinheit bilden 20-kg oder 25-kg Säcke, weitere Packmittel wie Großgebinde, sind auf Anfrage erhältlich.

3. Physikalische Eigenschaften

Die physikalischen Eigenschaftswerte der einzelnen Vectra-Typen sind im beigefügten Faltblatt in übersichtlicher Form dargestellt.

Das Eigenschaftsbild von Vectra® LCP wird zum größten Teil durch seine flüssigkristalline Struktur bestimmt. Die auch in der Schmelze stäbchenförmigen Vectra-Moleküle werden beim Spritzgießen oder Extrudieren in Fließrichtung orientiert. Der hohe Ordnungsgrad flüssigkristalliner Polymere bringt es mit sich, dass mechanische Eigenschaften, Schwindung und andere Formteilmerkmale durch die Fließstruktur des Teils geprägt werden. Während der Werkzeugfüllung werden die Moleküle in Fließrichtung orientiert. Im fertigen Formteil richten sich diese Moleküle an der Oberfläche aus und bilden dort eine in Fließrichtung hochorientierte Haut. Die Stärke dieser Haut beträgt 15 – 30% der Gesamtdicke des Teils (vgl. Abbildung. 3.0). Diese Molekularorientierung erzeugt einen Selbstverstärkungseffekt, der dem Formteil eine außergewöhnliche Biegefestigkeit und Schlagzähigkeit wie auch gute Zug-Eigenschaften verleiht. Die Zunahme der relativen Festigkeitswerte korreliert direkt mit Abnahme der Wanddicke (vgl. Abbildung 3.1.3 – Abbildung 3.1.6).

Abbild. 3.0 · Bruchfläche von unverstärktem Vectra®



Vectra gehört zu Celanese's Hochleistungspolymeren. Es ist ein hochfester Konstruktionswerkstoff mit sehr guten Fließ Eigenschaften und hoher Temperaturbeständigkeit.

Das beigefügte Faltblatt bietet einen Überblick über die physikalischen Eigenschaften bei kurzzeitiger Beanspruchung für den größten Teil der derzeit verfügbaren Vectra-Typen. Da das Vectra Portfolio kontinuierlich weiterentwickelt wird, wenden Sie sich bitte zu Fragen bezüglich der Lieferbarkeit weiterer Typen an Ihren lokalen Kundenservice.

Die in dem Faltblatt angegebenen Eigenschaftswerte sind Richtwerte, die auf Messungen an standardisierten Spritzguss-Testkörpern beruhen. Sie sind für den Typenvergleich vorgesehen. Ihre Anwendbarkeit auf ein spezielles Formteil ist insofern begrenzt, als die Festigkeit von Formteilen zu einem großen Teil vom Design abhängt. Die meisten physikalischen Eigenschaften von LCP sind von den Verarbeitungsbedingungen abhängig, so dass der Vergleich mit Daten anderer Herkunft stets kritisch betrachtet werden muss.

Die Höhe der einzelnen Eigenschaftswerte wird primär durch die verwendeten Füll- und Verstärkungsstoffe bestimmt. Glasfasern erhöhen Steifheit, Zugfestigkeit und Wärmeformbeständigkeit. Kohlefasern vermitteln den höchsten Steifheitsgrad. Der Zusatz von Mineralfüllstoffen verbessert die Steifheit und ergibt größere Zähigkeit und eine im Vergleich zur Glasfaserverstärkung ansprechendere Oberfläche. Graphit verbessert die Reißdehnung und resultiert in verbesserten Schmiereigenschaften. PTFE-modifizierte Typen besitzen hervorragende Gleit- und Verschleiß Eigenschaften. Die Schlagzähigkeit des ungefüllten Vectra-Polymer wird durch den Zusatz von Füll- und Verstärkungsstoffen zwar verringert, ist aber immer noch hoch.

3.1 Mechanische Eigenschaften

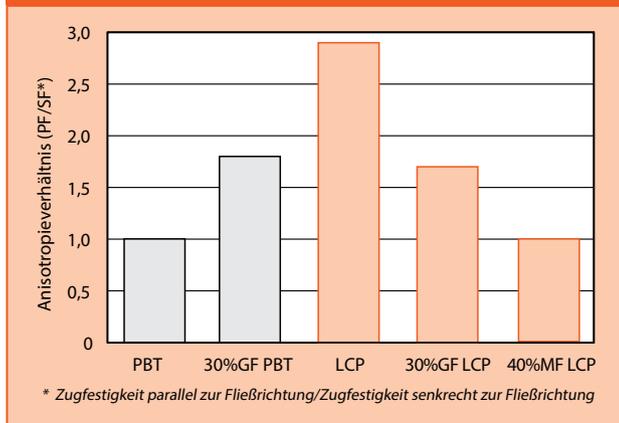
3.1.1 Anisotropie und Wanddicke

Dass flüssigkristalline Polymere in Formteilen eine Anisotropie der Eigenschaften zeigen, ist bekannt. Im Gegensatz zu den meisten anderen technischen Kunststoffen lässt sich die Anisotropie bei flüssigkristallinen Polymeren jedoch durch eine Mineralfüllung deutlich reduzieren, und in abgeschwächtem Maß gilt dies auch für Glasfaserverstärkung. Abbildung 3.1.1 zeigt einen beispielhaften Vergleich zwischen der Anisotropie eines Probekörpers aus Vectra und der eines gleichartigen Körpers aus PBT mit und ohne Glasfaserverstärkung. Die Anisotropie ist bei 30% glasfaserverstärktem Vectra fast vergleichbar mit der von 30% glasfaserverstärktem PBT. Bei hochmineralgefüllten Typen kann das Anisotropieverhältnis sogar bis auf 1 (isotrop) verschoben werden. Daraus folgt, dass bei der Gestaltung von Formteilen aus glasfaserverstärktem Vectra keine Rücksicht auf anisotropiebedingte Veränderungen gegenüber der Verwendung von anderen Glasfaser-Kunststoffen genommen werden muß. Eigenschaftsanisotropie lässt sich durch entsprechende Angussgestaltung und Wanddickenveränderungen in ausreichendem Maß begegnen.

Tabelle 3.1.1 vergleicht die Anisotropie von Biege- und Zug-Eigenschaften diverser Vectra-Typen in Plattenform (80 mm x 80 mm x 2 mm). Tabelle 3.1.2 zeigt den Einfluß abnehmender Wanddicke (80 mm x 80 mm x 1 mm) auf das Anisotropieverhältnis.

Mit abnehmender Wanddicke der Folien- oder Plattenstärke nimmt die hochorientierte Außenschicht im Verhältnis zur Gesamtdicke zu (vgl. Abbildung 3.1.2).

Abbild. 3.1.1 · Anisotropievergleich* zwischen Vectra® LCP und Celanex PBT (ISO Universal-Probekörper)



Tab. 3.1.1 · Anisotropie der Eigenschaften – 2 mm Dicke

		Ungefüllt	30% glas-gefüllt	30% mineral-gefüllt
Biegefestigkeit	Verhältnis PF/SF*	2,7	2,1	2,4
Biege-E-Modul	Verhältnis PF/SF*	3,6	2,9	3,9
Zugfestigkeit	Verhältnis PF/SF*	2,3	1,9	2,5
Zug-E-Modul	Verhältnis PF/SF*	3,3	2,2	2,7

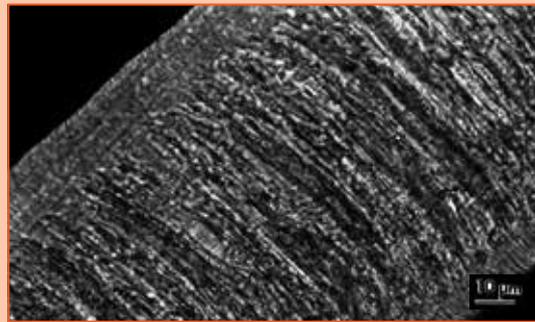
*PF/SF = Anisotropieverhältnis – parallel zur Fließrichtung / senkrecht zur Fließrichtung

Tab. 3.1.2 · Anisotropie der Eigenschaften – 1 mm Dicke

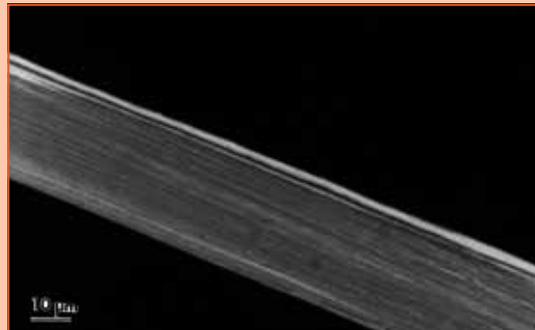
		Ungefüllt	30% glas-gefüllt	30% mineral-gefüllt
Biegefestigkeit	Verhältnis PF/SF*	3,9	3,1	2,9
Biege-E-Modul	Verhältnis PF/SF*	6,7	4,4	4,8
Zugfestigkeit	Verhältnis PF/SF*	3,6	2,6	3,1
Zug-E-Modul	Verhältnis PF/SF*	3,0	2,5	2,8

*PF/SF = Anisotropieverhältnis – parallel zur Fließrichtung / senkrecht zur Fließrichtung

Abb 3.1.2 · REM-Aufnahme der Faserstruktur

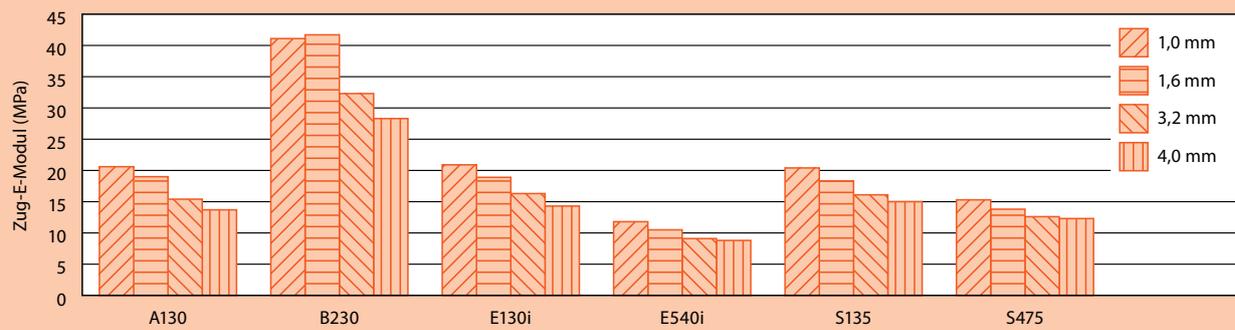


Extrudierter LCP-Strang zeigt die höhere Orientierung in der äußeren „Hautschicht“, jedoch nicht im Kern.

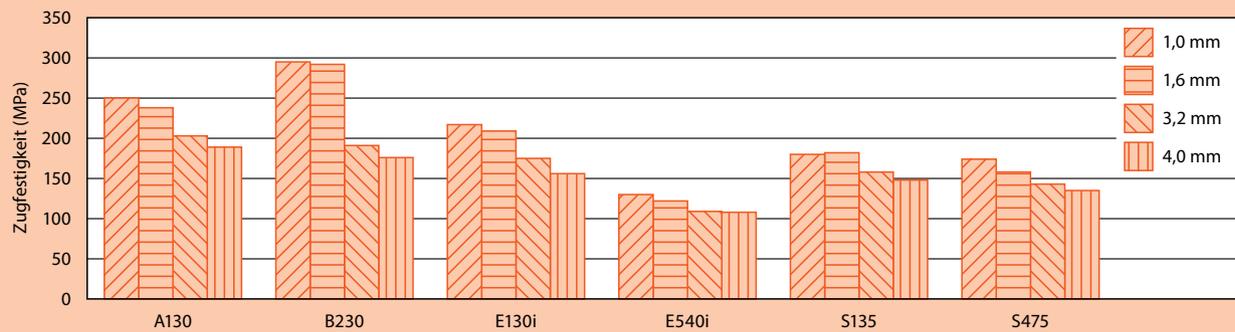


Extrudierte LCP-Faser ist durchgängig hochorientiert.

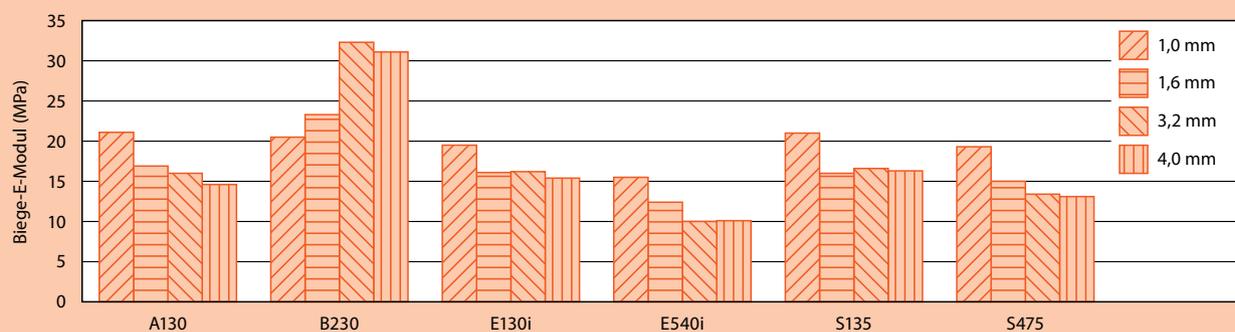
Abbild. 3.1.3 · Zug-E-Modul in Abhängigkeit von der Wanddicke bei Vectra®



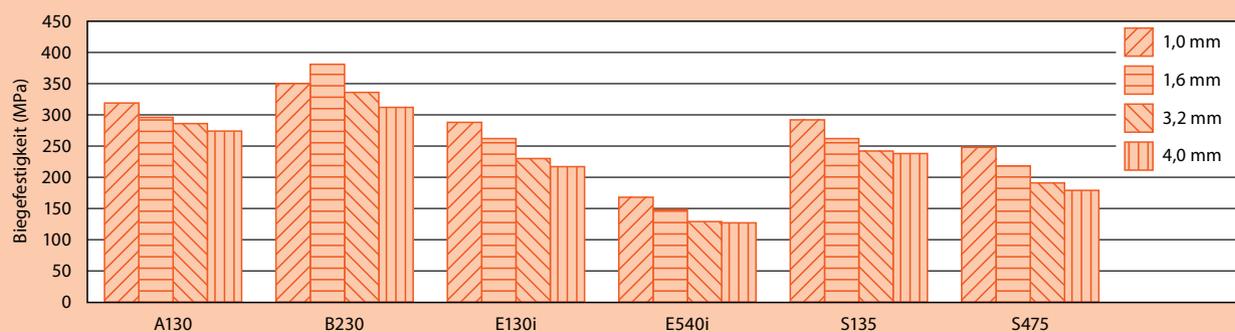
Abbild. 3.1.4 · Zugfestigkeit in Abhängigkeit von der Wanddicke bei Vectra®



Abbild. 3.1.5 · Biege-E-Modul in Abhängigkeit von der Wanddicke bei Vectra®



Abbild. 3.1.6 · Biegefestigkeit in Abhängigkeit von der Wanddicke bei Vectra®

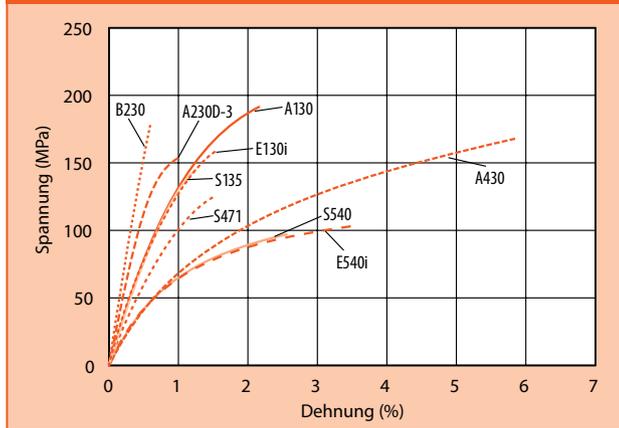


Dieser höhere Anteil hochorientierter Oberflächenschichten führt allgemein zu erhöhten Festigkeits- und Modulwerten in dünneren Abschnitten (vgl. Abbildungen 3.1.3, 3.1.4, 3.1.5 und 3.1.6). Die hervorragenden Fließigenschaften von Vectra LCP erlauben die Füllung extrem feiner Strukturen und ermöglichen damit sehr dünnwandige Bauteile.

3.1.2 Verhalten bei kurzzeitiger mechanischer Beanspruchung

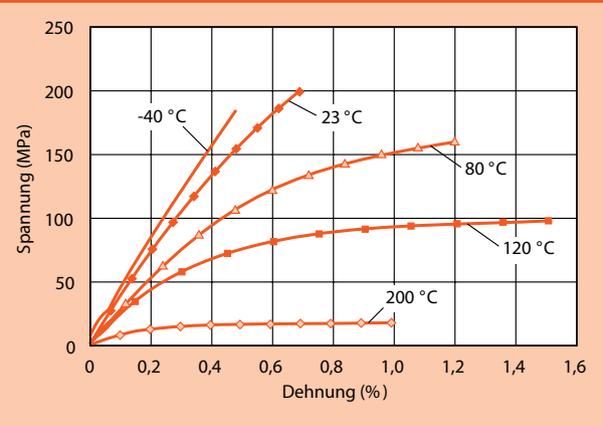
Die im Zugversuch ermittelten Spannungs-Dehnungs-Kurven in Abbildung 3.1.7 sind repräsentativ für das

Abbild.3.1.7 · Spannungs-Dehnungskurven einiger Vectra-Typen, Zugversuch, 23°C

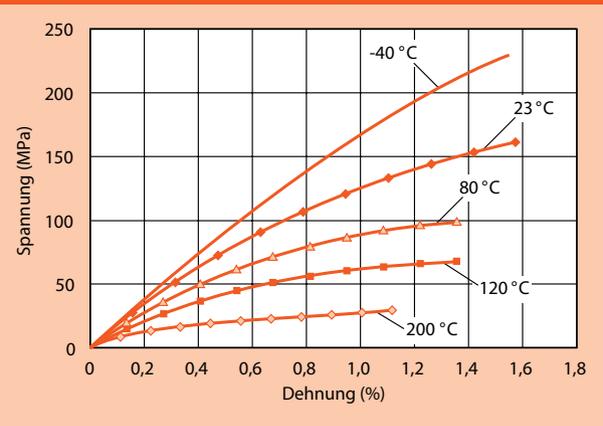


Vectra-Portfolio. Vectra A130 und E130i sind Kunststoffe mit 30% Glasfüllung, S135 mit 35% Glasfaserverstärkung, Vectra A230D-3 und B230 mit 30% Kohlefaserverstärkung, Vectra A430 mit 25% PTFE-Füllung, Vectra E540i und S540 mit 40% Mineralfüllung, Vectra S471i mit 45% Glas-/Mineralfüllung. Diese Typen decken das Spektrum der Spannungsdehnung für die meisten gefüllten oder verstärkten Vectra-Kunststoffe ab. Wie bei allen Thermoplasten nimmt die Materialsteifigkeit und -festigkeit von Vectra bei zunehmender Temperatur ab. Abbildungen 3.1.8a und b zeigen den Einfluss der Temperatur auf die Spannungs-Dehnungs-Kurven von Vectra B230 und Vectra E130i. Der Einfluss der Temperatur auf das Zug-Verhalten ist für mehrere Vectra-Typen in den Abbildungen 3.1.9 und 3.1.10 dargestellt.

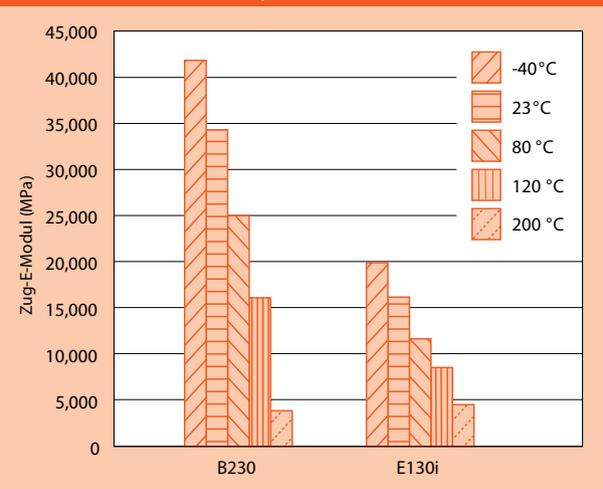
Abbild. 3.1.8a · Einfluss der Temperatur auf das Spannungs-Dehnungs-Verhalten, Zugversuch, Vectra® B230

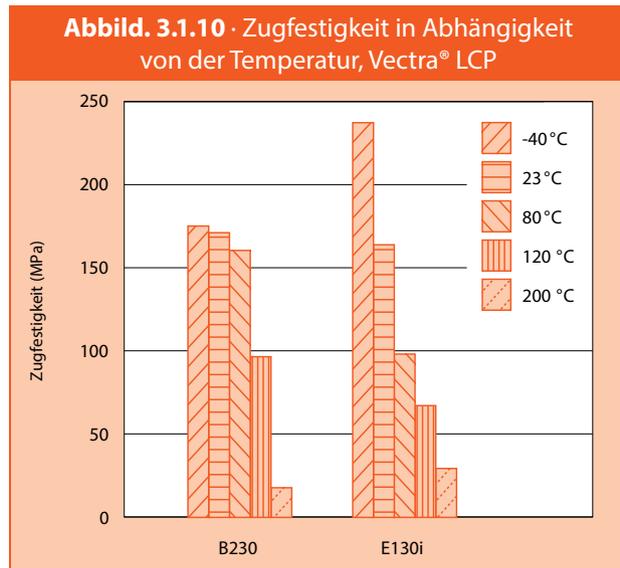


Abbild. 3.1.8b · Einfluss der Temperatur auf das Spannungs-Dehnungs-Verhalten, Zugversuch, Vectra® E130i



Abbild. 3.1.9 · Zug-E-Modul in Abhängigkeit von der Temperatur, Vectra® LCP





3.1.3 Verhalten bei langzeitiger mechanischer Beanspruchung

Vectra besitzt eine gute Zeitstandfestigkeit. Abbildung 3.1.11 zeigt den Zug-Kriechmodul von Vectra E130i, bei Temperaturen von 23°C und 120°C bei verschiedenen Beanspruchungen. Die Belastungsdauer betrug bei Typ E130i 1.000 Stunden. Die gewählte Beanspruchung lag bei 30% der Kurzzeit-Spannungsgrenze. Sämtliche Testkörper hielten der Prüfung stand. In keinem Fall wurden Anzeichen für das Erreichen der Zeitstandgrenze – beginnende Rissbildung – bei Beanspruchungsgraden unter 30% beobachtet.

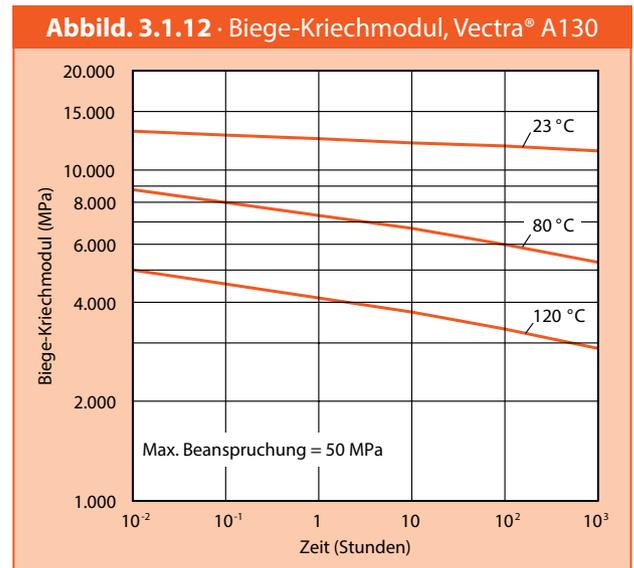
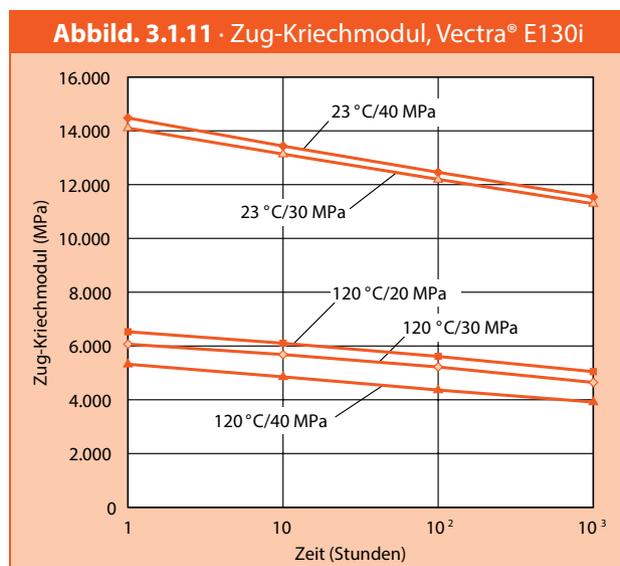


Abbildung 3.1.12 zeigt die Biege-Kriechmoduln für Vectra A130, ebenfalls 30% glasfaserverstärkt.

3.1.4 Verhalten bei Schlagbeanspruchung

Vectra weist sehr hohe Charpy und Izod Schlagzähigkeit bzw. Kerbschlagzähigkeit auf, bedingt durch die holzartige Faserstruktur. Selbst wenn diese Faserstruktur durchschnitten wird, wie es bei Izod oder Charpy Probekörpern der Fall ist, ist der für einen Bruch notwendige Energieaufwand hoch im Vergleich zu anderen glasfaserverstärkten Kunststoffen. Die Angaben der Schlagzähigkeits- und Kerbschlagzähigkeitswerte sind gemeinsam mit den anderen Beanspruchungs-Daten dem beige-fügten Faltblatt zu entnehmen.

3.1.5 Verhalten bei schwingender Beanspruchung

Durch Schwingung beanspruchte Konstruktionsteile müssen unter Zugrundelegung der Zeitschwingfestigkeit bemessen werden. Darunter versteht man den im Schwingversuch ermittelten Spannungsaussschlag σ_a – bei gegebener Mittelspannung σ_m –, den eine Probe für eine bestimmte Lastspielzahl, zum Beispiel 107 Lastwechsel, ohne Bruch aushält („Wöhler-Kurve“). Die verschiedenen Beanspruchungsbereiche, in denen solche Versuche durchgeführt werden, sind in Abbildung 3.1.13 wiedergegeben.

Für die meisten Kunststoffe beträgt die Zeitschwingfestigkeit bei 107 Lastwechseln etwa 20 bis 30% der im Zugversuch ermittelten Reißfestigkeit. Sie sinkt mit stei-

Abb. 3.1.13 · Beanspruchungsbereiche im Dauerschwingversuch

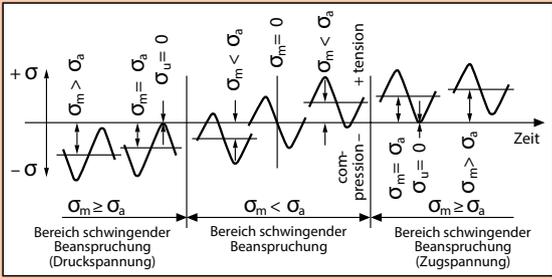
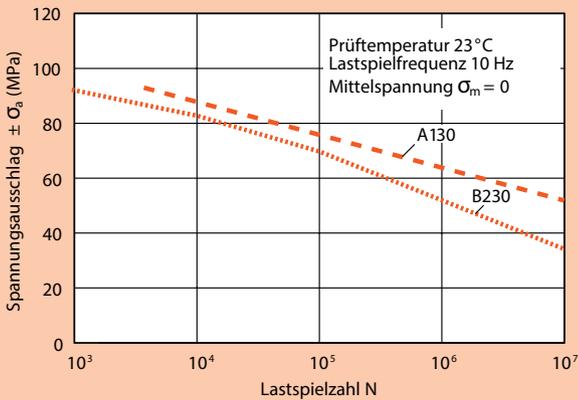


Abbildung. 3.1.14 · Wöhler-Kurven für Vectra, ermittelt in Fließrichtung im Dauerschwingversuch



gender Temperatur und Lastwechselfrequenz sowie bei Vorhandensein von Spannungsspitzen an gekerbten Bauteilen.

Die Wöhler-Kurve der Biege-Wechselbeanspruchung für verschiedene Vectra-Typen sind in Abbildung 3.1.14 wiedergegeben. Für eine Lastspielzahl von z.B. $N=10^7$ beträgt die Biegewechselfestigkeit von Vectra A130 $\sigma_{bw} = 50 \text{ N/mm}^2$.

3.1.6 Tribologisches Verhalten

Die Reibungs- und Verschleißeigenschaften von Vectra sind sehr spezifisch für die jeweilige Anwendung. Allgemein lässt sich feststellen, dass Vectra-Kunststoffe unter geringer Last gute Gleit- und Verschleißeigenschaften vorweisen. Vectra-Typen mit günstigem Verschleißverhalten enthalten PTFE, Kohlefasern, Grafit, oder eine Kombination dieser mit anderen Füll- und Verstärkungsstoffen. Die dynamischen Reibungszahlen liegen meist zwischen 0,1 und 0,2. Weitere spezifische

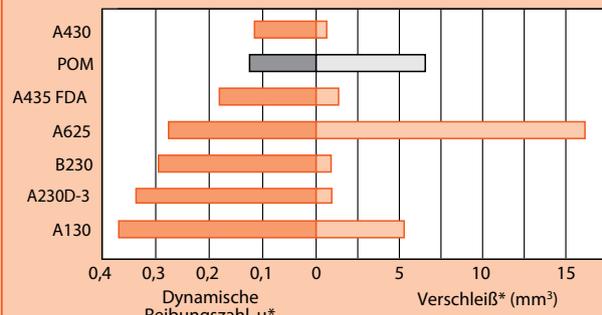
Daten können durch Standardprüfverfahren ermittelt werden (vgl. Tabelle 3.1.3). Aufgrund der Abhängigkeit des Reib-Gleitverhaltens von der Orientierung empfehlen wir, das fertige Bauteil unter den entsprechenden Lagerungs-, Reibungs- und Verschleißbedingungen zu testen.

Abbildung 3.1.15 vergleicht die dynamischen Reibungszahlen μ einer Anzahl von Vectra-Typen mit denen von

Tabelle 3.1.3 · Dynamische Reibungszahl μ von Vectra® LCP (ASTM D1894)

Beschreibung	Vectra-Typ	Reibungszahl in Fließrichtung	
		statisch	dynamisch
Glasfaserverstärkt	A115	0,11	0,11
	A130	0,14	0,14
Kohlefaserverstärkt	A230D-3	0,19	0,12
PTFE-modifiziert	A430	0,11	0,11
	A435 FDA	0,16	0,18
Grafitmodifiziert	A625	0,21	0,15
Kohlefaserverstärkt	B230	0,14	0,14

Abbildung. 3.1.15 · Reibung und Verschleiß



* Mittel zwischen den Werten parallel und senkrecht zur Fließrichtung

Dynamische Reibungszahl μ von Vectra bei

Gleiten auf Stahl
 Stahlkugeldurchmesser 13 mm
 Last (F_N) 6 N
 Gleitgeschwindigkeit (v) 0,6 m/min.

Verschleiß von Vectra bei Trockengleiten auf einer sich drehenden, geschliffenen Stahlwelle:

Rauhtiefe 0,1 μm
 Umfangsgeschwindigkeit der Welle (v) 136 m/min.
 Last (F_N) 3 N
 Dauer des Versuchs 60 h

POM bei Trockengleiten unter geringer Last auf einer rotierenden Stahlwelle.

Vectra besitzt eine mittlere Oberflächenhärte. Es werden Werte der Rockwell-Härte M-Skala bis 100 erreicht (vgl. beigefügte Produkt-Information).

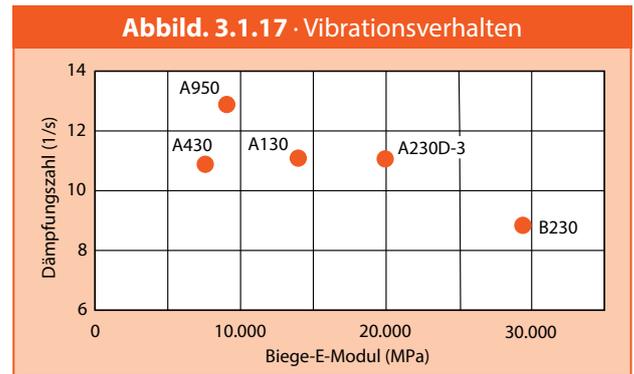
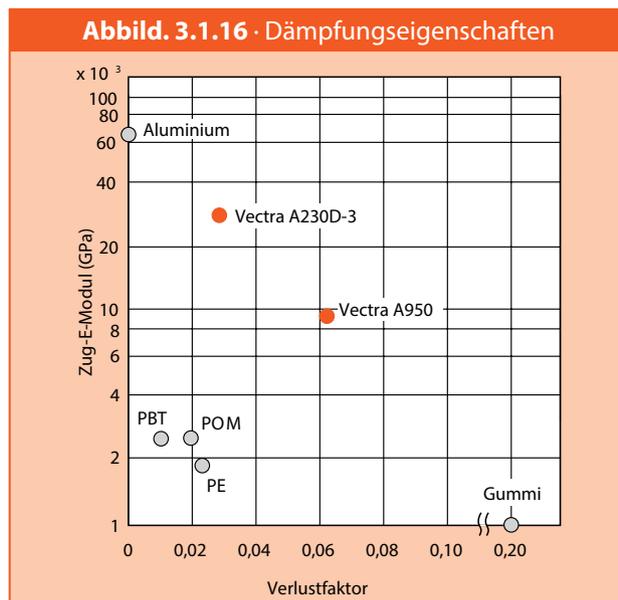
3.1.7 Dämpfungseigenschaften

Die einzigartige Molekularstruktur von Vectra wirkt sich äußerst positiv auf seine Dämpfungseigenschaften aus. Im allgemeinen besitzen Werkstoffe mit hohem Modul, wie z.B. Metalle, niedrige Dämpfung (inneren Verlust), während niedrigmodule Materialien, wie z.B. Gummi sehr gut dämpfen. Vectra erreicht hingegen hohe Dämpfungswerte trotz gleichzeitiger hoher Modulwerte. Das liegt an der einzigartigen Morphologie flüssigkristalliner Polymere. Das Verhältnis zwischen innerem Verlust η und Dämpfungszahl I entspricht der Formel

$$\lambda T / \pi = \eta$$

bei T = Zyklus und $\pi = 3,14$

Abbildung 3.1.16 gibt die Dämpfungseigenschaften einer Reihe von Werkstoffen an. Abbildung 3.1.17 vergleicht das Vibrationsverhalten verschiedener Vectra-Typen.



3.2 Thermische Eigenschaften

3.2.1 Dynamisch Mechanische Analyse (DMA)

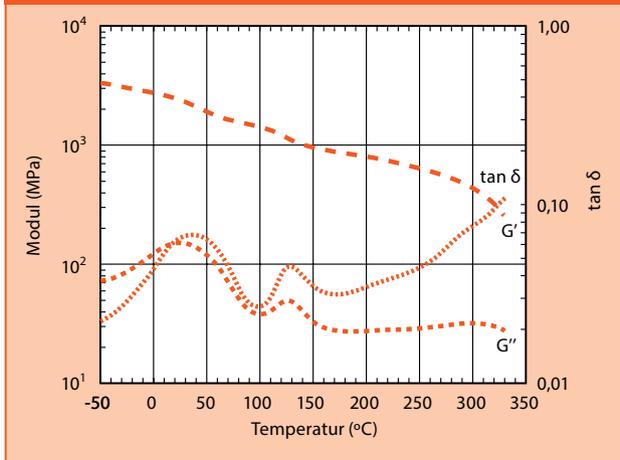
Die Dynamisch Mechanische Analyse (DMA) liefert eine Art Momentaufnahme des thermomechanischen Verhaltens von Kunststoffen. Diese Technik wird angewandt, um Speichermodul (E'), Verlustmodul (E'') und Dämpfungs- oder Energieverlust ($\tan \delta$) eines Werkstoffs über einen breiten Temperaturbereich zu ermitteln. Bei Temperaturen mit niedrigem Verlust und Dämpfungsfaktor entspricht die Steifheit oder der Modul (E') näherungsweise dem konventionellen Zug-E-Modul (E). Dieser Modul stellt die Rückfederungsenergie dar, die in einem viskoelastischen Stoff während seiner Verformung gespeichert ist. Die Dämpfungszahl ($\tan \delta$) stellt die Energieverluste dar, die während der Verformung aufgrund der inneren Molekularreibung in viskoelastischen Stoffen auftreten.

Die absolute Höhe der Messwerte ist bei dieser Methode abhängig von der Prüfmethode. Da es sich bei Vectra® LCP um ein anisotropisches Material handelt, zeigen die Orientierung des Prüfkörpers und die Richtung der mechanischen Belastung einen großen Einfluss auf die Werte. Die hier vorgestellten Ergebnisse wurden mit Hilfe des Torsionspendels gewonnen. Bei dieser Methode erfährt der Prüfkörper eine Belastung die nicht genau in Richtung der Faserachsen orientiert ist. Durch die Torsionsbewegung wird ein signifikanter Teil der Last in einem Winkel zur Faserachse aufgebracht. Dadurch nimmt die Höhe der Messwerte ab und die dargestellten Moduln unterscheiden sich von den Werten der Zugprüfung.

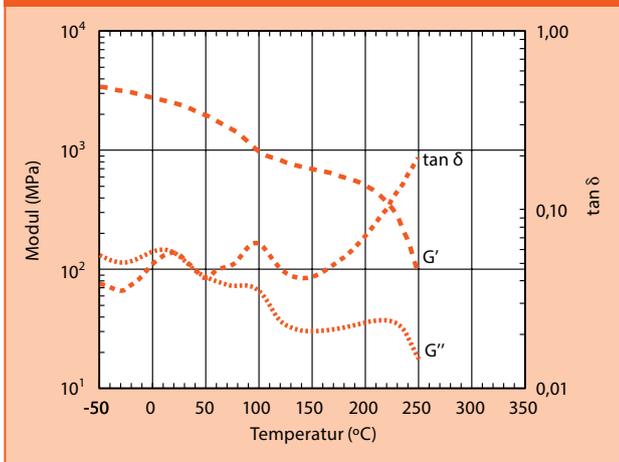
Tabelle 3.2.1 · Dynamisch Mechanische Analyse (DMA)

Geprüftes Material	α -Übergang (T_g) (°C)	β -Übergang (°C)	Speicher-Modul (G') bei 23°C (MPa)	Halb-Modul-Temperatur $T_{1/2G}$ (°C)
Vectra A130	97	18	2400	88
Vectra A230D-3	103	21	3200	95
Vectra A430	99	11	1400	83
Vectra A625	98	22	3000	83
Vectra E130i	113	59	2300	119
Vectra E471i	115	57	2500	119
Vectra E540i	117	61	3200	113
Vectra S135	128	35	2400	121
Vectra S471	131	39	3600	119

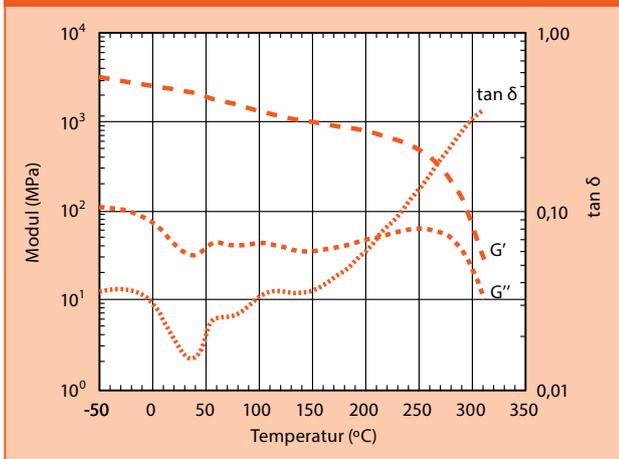
Abbild. 3.2.3 · Dynamisch Mechanische Analyse Vectra® S135



Abbild. 3.2.1 · Dynamisch Mechanische Analyse Vectra® A130



Abbild. 3.2.2 · Dynamisch Mechanische Analyse Vectra® E130i



Durch den Vergleich der DMA-Kurven zweier oder mehrerer Vectra-Polymere (vgl. Abbildungen 3.2.1-3.2.3) ist die Bewahrung der Steifheit beim Anstieg der Temperatur leicht zu vergleichen. Allgemein gilt, je höher die Steifheit bei einer bestimmten Temperatur, desto höher die Zeitstandfestigkeit bei dieser Temperatur. In Tabelle 3.2.1 ist die Temperatur, bei der der Modul unter 50% des Umgebungstemperaturmoduls fällt, für mehrere Vectra-Typen tabellarisch aufgelistet. Allgemein gilt, je höher diese Temperatur, desto größer die Zeitstandfestigkeit dieses Typs unter Hochtemperaturbedingungen. Vectra A130 ($T_{1/2G} = 88^\circ\text{C}$) wird zum Beispiel eine bessere Zeitstandfestigkeit im Temperaturbereich zwischen etwa 23 und 90°C aufweisen als Vectra A625 ($T_{1/2G} = 83^\circ\text{C}$). Und Vectra E130i ($T_{1/2G} = 119^\circ\text{C}$) wird eine größere Zeitstandfestigkeit im Temperaturbereich zwischen 80 und 120°C besitzen als Vectra A130 ($T_{1/2G} = 88^\circ\text{C}$).

In ähnlicher Weise deuten Maxima im Verlauf des Dämpfungsfaktors auf Übergänge und Temperaturbereiche, in denen das Polymer mehr Energie verliert (man beachte, dass die gemessenen Frequenzen sehr niedrig sind, im Bereich von etwa 1 Hz. Dieser Wert liegt weit unterhalb des hörbaren Bereichs von 20 bis 20.000 Hz). Typisch für Vectra-Polymere sind zwei ausgeprägte Dämpfungsspitzen, und zwar im Bereich des Glasübergangs α und im Bereich des Niedrigtemperaturübergangs β . Diese sind in Tabelle 3.2.1 aufgeführt. Typisch für Vectra ist außerdem, dass die Dämpfungsspitzen aller Typen über ein breites Temperaturspektrum verteilt sind. Glasübergänge liegen meist bei Temperaturen zwischen 120 und 155°C mit sekundären Niedrigtemperatur-Verlustspitzen bei 10 bis 80°C . Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Dämpfungsspitzen knapp oberhalb der Umgebungstemperatur Vectra zu

einem guten Schalldämpfer machen. Vectra-Formteile klingen beim Aufprall eines Gegenstands nicht nach.

3.2.2 Wärmeformbeständigkeit

Die Wärmeformbeständigkeitswerte unter Last (HDT/DTUL) gemessen bei einer Belastung von 1,8 MPa (HDT/A) liegen für Vectra zwischen 120°C bei einem unverstärkten Niedrigtemperatur-Produkt und Höchstwerten von ca. 340°C bei den glasfaserverstärkten Hochtemperatur-Werkstoffen. Die Wärmeformbeständigkeiten bei Belastungen von 8 MPa (HDT/C) und 0,45 MPa (HDT/B) unterscheiden sich deutlich von der HDT/A und können dem beigefügten Blatt entnommen werden.

3.2.3 Wärmeausdehnungskoeffizient

Eine der vorteilhaften Eigenschaften von Vectra im Vergleich zu anderen Thermoplasten ist der außergewöhnlich niedrige Wärmeausdehnungskoeffizient (CLTE = Coefficient of Linear Thermal Expansion). Die Ausdehnungskoeffizienten ändern sich nur geringfügig und annähernd linear. Der Ausdehnungskoeffizient zeigt, wie die meisten Eigenschaften von Vectra® LCP, eine ausgeprägte Anisotropie. In Orientierungsrichtung ist er wesentlich niedriger als quer dazu. In besonderen Fällen (Kohlefaserverstärkte Typen) kann der Ausdehnungskoeffizient in Fließrichtung sogar negativ werden.

Der lineare Ausdehnungskoeffizient von Vectra kann in gewissen Grenzen variiert werden. Damit liegen die Werte im Bereich von Glas, Stahl, Keramik und Glasfaser/Epoxid-Substraten. Abb. 3.2.4 vergleicht die Koeffizienten verschiedener technischer Werkstoffe. Beim Erwärmen entstehen aufgrund der vergleichbaren Wärmeausdehnungskoeffizienten keine mechanischen Spannungen in Verbundkonstruktionen von Vectra mit den aufgeführten Materialien. Bei Bauteilen für die Oberflächenmontage von elektrischen Komponenten (SMD = surface mounted device) ist es wichtig, dass deren Wärmeausdehnung mit der des Leiterplattensubstrates (FR4 – Epoxidharz/Glasfaser) übereinstimmt. Damit lassen sich mechanische Belastungen der Lötunkte infolge thermischer Spannungen vermeiden. Vectra ist daher ein guter Werkstoff für Verbundkonstruktionen und insbesondere die SMD-Technologie.

Abbild. 3.2.4 · Lineare Wärmeausdehnungskoeffizienten von ausgewählten Werkstoffen

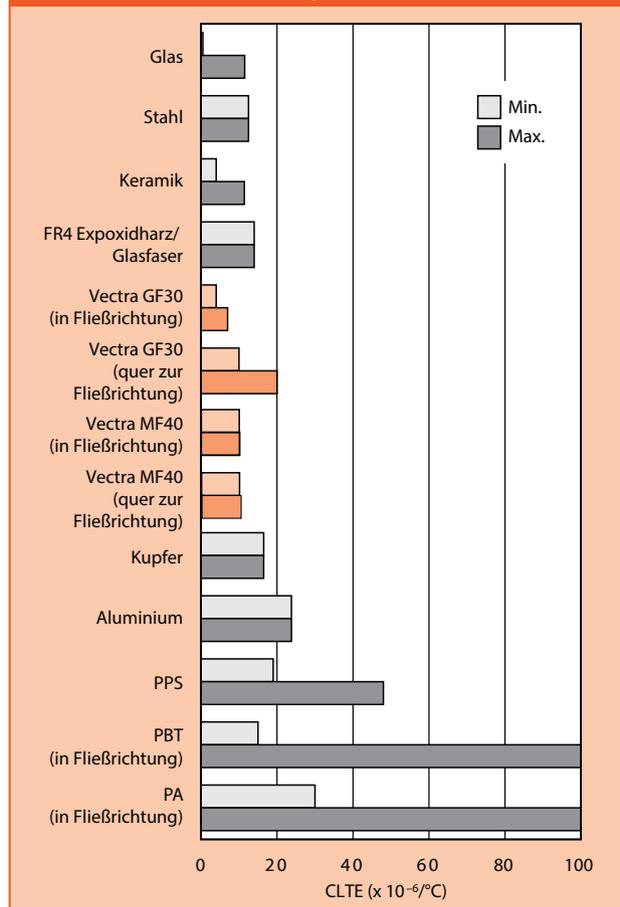
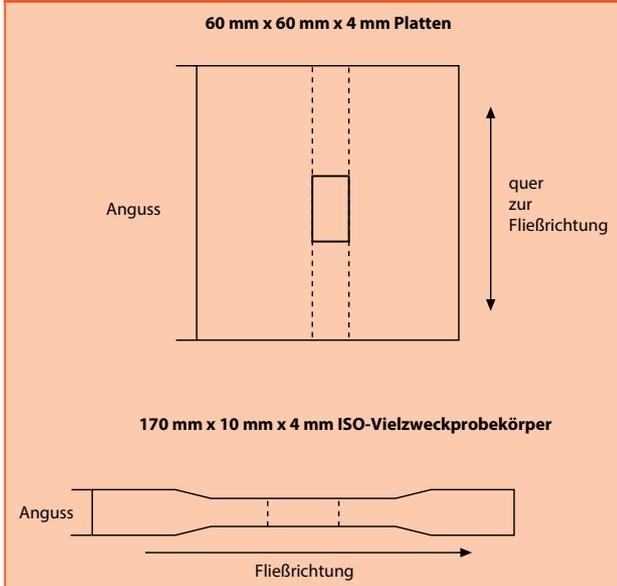


Tabelle 3.2.2 · Wärmeausdehnungskoeffizienten von Vectra (-50°C bis 200°C)

Vectra	Wärmeausdehnungskoeffizient (x 10 ⁻⁶ /°C)	
	30 x 10 x 4 mm aus ISO Vielzweckprobekörper	senkrecht zur Fließrichtung
	Fließrichtung	
A130	5	20
B230	1	8
E130i	5	19
E540i	11	12
E471i	4	15
S135	4	22

Abbild. 3.2.5 · Prüfkörper für Messung des Längenausdehnungskoeffizienten



Der Ausdehnungskoeffizient hängt vom Fließbild bzw. der Faser-Orientierung im Formteil ab. Je gleichmäßiger das beim Spritzgießen eines bestimmten Teilabschnitts entstehende Füllmuster ist, desto geringer wird die Anisotropie der thermischen Längenausdehnungskoeffizienten in den verschiedenen Raumrichtungen ausfallen. Der höhere fließrichtungsbedingte Orientierungsgrad in dem ISO Prüfkörper spiegelt sich in der höheren Anisotropie des linearen Ausdehnungskoeffizienten wieder. Mit den ausgeglicheneren Fließ- und Orientierungseigenschaften 60 x 60 x 4 mm Musterplatte werden die Ausdehnungswerte ausgeglichener. (vgl. Abbildung 3.2.5). Die beiden daran gemessenen Werte bilden damit gewissermaßen das erreichbare Spektrum der thermischen Längenausdehnungskoeffizienten ab. In der Tabelle 3.2.2 sind die Wärmeausdehnungskoeffizienten ausgewählter Typen verglichen, weitere Daten können dem beigelegten Faltblatt und den technischen Datenblättern entnommen werden.

3.2.4 Lötbeständigkeit

Formteile aus Vectra sind zum Dampfphasenlöten (Wellenlöten) und Infrarotlöten (Reflow / SMD / Through-Hole) geeignet. Sie sind dimensionsstabil und zeigen äußerst niedrige Wärmeausdehnungskoeffizienten bei den beim Löten auftretenden Temperaturen. Vorteilhaft auf die Dimensionsstabilität wirkt sich die äußerst geringe Feuchtigkeitsaufnahme von Vectra® LCP aus.

Tabelle 3.2.3 · Dampfphasenlötbeständigkeit von Vectra® LCP

Dimensionsveränderungen nach Lagerung in Fluoriniert FC70 bei 215°C (%)			
		45 s Lagerung	120 s Lagerung
Vectra A130 (30% GF)	ΔL	0,05	0,05
	ΔB	0,05	0,05
	ΔT	0,05	0,05
PBT (30% GF)	ΔL	0,2	0,22
	ΔB	0,3	0,5
	ΔT	0,2	0,32
PPS (40% GF)	ΔL	0,15	0,16
	ΔB	0,53	0,55
	ΔT	0,55	0,57

GF = glasfaserverstärkt
 ΔL = Längendimensionsveränderung (%)
 ΔB = Breitendimensionsveränderung (%)
 ΔT = Tiefendimensionsveränderung (%)

Tabelle 3.2.4 · Lötbeständigkeit von Vectra® LCP

Lötbadtemperatur (°C)	Lagerungsdauer (s)	Vectra A130	Vectra E130i	Vectra S135
240	10	O	O	O
	60	O	O	
260	15	O	O	O
	20	Δ	O	O
	45	Δ	O	O
	60	Δ	O	O
280	10	--	O	O
	30	--	O	O
	45	--	Δ	O
	60	--	Δ	O
	90	--	--	O
290	60	--	--	O
300	30	--	--	O
310	10	--	--	O
	15	--	--	O

O = keine optischen Veränderungen -- = nicht untersucht
 Δ = optische Veränderungen

Dimensionsveränderungen und Verzug bleiben so minimiert.

Tabelle 3.2.3 zeigt Dimensionsveränderungen an einem 56 mm langen Steckverbinder mit 40 Kontakten nach Lagerung in Fluoriniert FC70, das beim Dampfphasenlöten eingesetzt wird.

Die Löttemperaturfestigkeit mehrerer Vectra-Typen ist in Tabelle 3.2.4. wiedergegeben. Die Erfahrung zeigt,

dass Vectra A130 bis zu einer Löttemperatur von 240°C beständig ist. Oberhalb dieser Temperaturen können die Teile aufgrund der Nähe zur Schmelztemperatur (280°C) erweichen. Vectra E130i widersteht mit seinem wesentlich höheren Schmelzpunkt (335°C) kurzzeitige Löttemperaturen von bis zu 300°C. Die Einführung der Hochtemperaturtypen, hier ist insbesondere das Vectra S135 (Schmelztemperatur 350°C) zu erwähnen, erweitert das mögliche Prozessfenster nochmals deutlich.

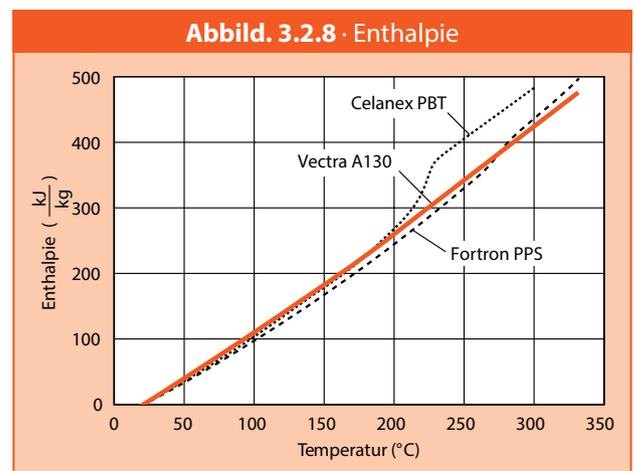
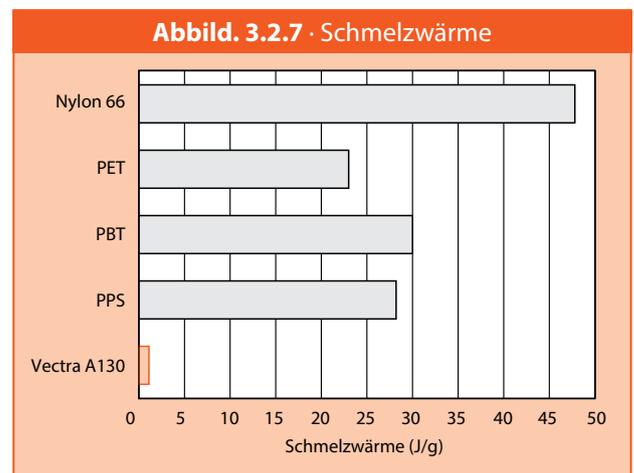
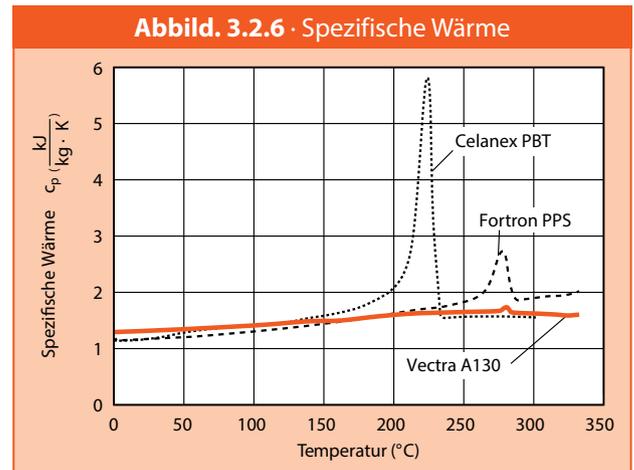
Die Schmelztemperatur bietet aber nur einen geeigneten Anhaltspunkt für die Abschätzung der Verwendbarkeit der Vectra-Typen im Lötprozess: Ein weiteres wichtiges Maß ist die Wärmeformbeständigkeit unter Last, wobei im Einzelfall zu entscheiden ist, ob die HDT/A, oder die Beständigkeit bei anderer Belastung (HDT/B oder C) heranzuziehen ist. Hierbei sind zum Beispiel Belastungen durch den Bauteil-Innendruck (z.B. durch eingeschlossenes Schutzgas) oder sonstige mechanische Einwirkungen, wie zum Beispiel Klemmverbindungen, zu beachten.

Durch die verstärkte Anwendung der bleifreien Lote haben sich die Temperaturspitzen im Lötprozess auf bis zu 270°C erhöht. Grundsätzlich ist anzumerken, dass Vectra-Typen der Ei- und der S-Serie bei ordnungsgemäßer Verarbeitung für derartige Lötprozesse geeignet sind.

Häufige Fehler sind mangelhafte Trocknung des Materials vor der Verarbeitung oder übermäßige Scherung des Materials. Mineralgefüllte Typen erfordern hierbei gegebenenfalls eine sorgfältigere Trocknung als rein glasfaserverstärkte Typen. Scherung wird dabei über die Schnecke in der Spritzgussmaschine und im Werkzeug beim Einspritzen eingebracht. Fehlerhafte Verarbeitung zeigt sich in der Regel an einer Blasenbildung an der Bauteiloberfläche im Lötprozess. Hierbei wird auf den Fehlerkatalog im Kap. 6.4 verwiesen.

3.2.5 Thermodynamik, Schmelzwärme

In Abbildung 3.2.6 ist die spezifische Wärme c_p von Vectra als Funktion der Temperatur im Vergleich mit PPS und PBT wiedergegeben. Vectra LCP's zeichnen sich gegenüber teil-kristallinen Thermoplasten durch eine deutlich geringere spezifische Wärme aus. Der Verlauf der Kurven ähnelt eher dem der amorphen Thermoplaste. Dies lässt sich durch die flüssigkristalline Struktur von Vectra erklären. Der Übergang vom geschmolzenen in den festen Zustand ist bei LCPs mit einer vergleichsweise geringen Änderung des Ordnungs-



zustandes verbunden, denn die Schmelze ist bereits hoch geordnet.

Wegen des hochorientierten Schmelzzustands beträgt die Übergangsenergie beim Schmelzen oder Einfrieren ein Zehntel bis zu einem Zwanzigstel der bei teilkristallinen Thermoplasten auftretenden Werte vgl. Abbildung 3.2.7).

Abbildung 3.2.8 gibt die Enthalpie von Vectra A130, Celanex PBT und Fortron PPS für den gesamten Erwärmungs- oder Abkühlprozess wieder.

Die Kenntnis der Wärmemenge, die während der Verarbeitung durch Heizen zugeführt oder durch Kühlen abgeführt werden muss, ist von wesentlicher Bedeutung für eine optimale Gestaltung der Spritzgießmaschine und einzelner Teile. Bei Vectra muss weniger Wärme abgeführt werden und die Masse erstarrt rasch. Deshalb sind beim Spritzgießen deutlich kürzere Zykluszeiten möglich als dies bei teilkristallinen Werkstoffen der Fall ist, was zu günstigen Fertigungskosten beiträgt. Die Wärmeleitfähigkeit λ von unverstärktem Vectra liegt im Bereich der teilkristallinen Polymeren und ist abhängig sowohl von dem Basispolymer als auch von Art und Menge des Füllstoffs (vgl. Abbild. 3.2.9).

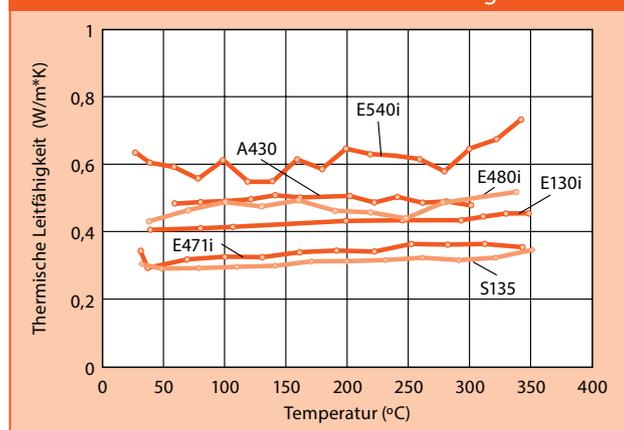
3.2.6 Ausgasungsverhalten

Vectra LCP hat im Vergleich zu anderen hochtemperaturbeständigen Thermoplasten ein sehr günstiges Ausgasungsverhalten. Formteile aus Vectra LCP, welche kurzzeitig oder auch dauerhaft hohen Temperaturen ausgesetzt sind, erzeugen keinen oder nur vergleichsweise wenig Belag auf angrenzenden kühleren Oberflächen.

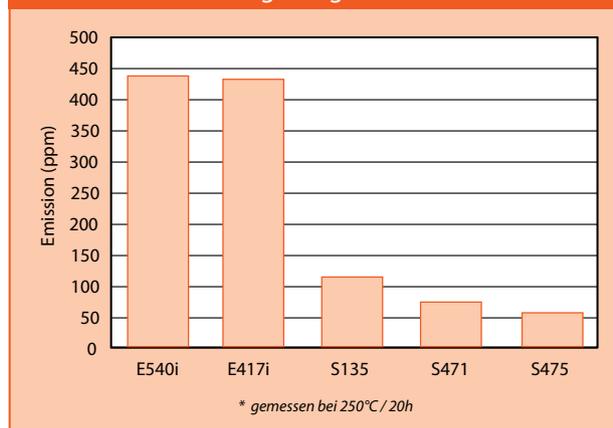
Emissionen entstehen aus niedermolekularen Rohstoffresten oder Abbauprodukten. Das Reaktionsverfahren sorgt jedoch für eine zuverlässige Reaktion der Rohstoffe und die Temperaturbeständigkeit des Polymers bewirkt einen nur geringen thermischen Abbau. Zudem hat der geringe Rest an niedermolekularen Resten einen so geringen Siedepunkt, dass es in der Regel zu keinem Beschlag auf Kontakten, Streuscheiben oder Linsen angrenzend zu temperaturbelasteten Vectra LCP Formteilen kommt.

Bei Standardtypen liegt der Emissionslevel unterhalb 500 ppm bei einer Temperaturbelastung von 250°C über 5 Stunden (siehe Abb. 3.2.10). Durch den Einsatz von höher temperaturbeständigen Vectra LCP Typen kann dieser Wert auf unter 50 ppm bei gleichen Bedingungen gedrückt werden.

Abbild. 3.2.9 · Thermische Leitfähigkeit



Abbild. 3.2.10 · Ausgasungswerte* für Vectra® LCP



3.3 Verhalten bei Flammeneinwirkung

Vectra ist schwer entflammbar und selbstverlöschend und somit inhärent flammwidrig. Die vollaromatischen Vectra-Polymere bilden bei Einwirkung sehr hoher Temperaturen eine Kohlenstoffschicht. Diese verlangsamt die Entstehung brennbarer Gase.

Vectra weist eine Selbstentzündungstemperatur von >540°C auf. Erst bei Temperaturen von über 380°C verläuft die thermische Zersetzung an der Luft mit einer relevanten Reaktionsgeschwindigkeit.

Der Sauerstoff-Index (LOI = „Limiting Oxygen Index“) nach ASTM D 2863-77 gibt die Mindestsauerstoffmenge in Prozent in Luft an, bei der die Verbrennung des Polymeren nach der Entzündung sich ohne Einwirkung einer zusätzlichen Energiequelle fortsetzt. Der LOI von Vectra liegt je nach Basispolymer im Bereich zwischen 40 und 50%.

Messungen der Rauchgasdichte und Verbrennungsprodukte eines repräsentativen Typs, Vectra A950, sind in den Tabellen 3.3.1 und 3.3.2 aufgelistet. Die Verbrennungsprodukte sind im wesentlichen Wasser, Kohlendioxid und Kohlenmonoxid. Die Wärmefreisetzungsprüfung durch die Ohio State University (OSU) ergab für Vectra ebenfalls sehr gute Werte (vgl. Tabelle 3.3.3).

Vectra entspricht der Underwriters-Laboratory-Listung UL 94 V-0, bei einigen Typen mit einer minimalen Stärke von nur 0,2 mm. Die Listungen können bei den Underwriters Laboratories unter Aktenzeichen E83005 eingesehen werden.

Beachten Sie bitte, dass Celanese laufend neue Vectra-Typen entwickelt und die Datenbasis bestehender Typen ergänzt. Wenden Sie sich diesbezüglich an den technischen Service von Celanese oder besuchen Sie unsere Web-Site, um die neuesten UL-Informationen zu erhalten.

3.4 Elektrische Eigenschaften

Vectra hat gute elektrische Eigenschaften (vgl. beigefügte Produkt-Information). Dank dieser Eigenschaften sowie leichter Verarbeitbarkeit, hoher Dimensionsstabilität, Wärmeformbeständigkeit und mechanischer Widerstandsfähigkeit wird Vectra häufig als Werkstoff für elektronische Bauteile, insbesondere für oberflächenmontierte Bauteile (SMD) gewählt. Vectra ist auch mit geringer bis mittlerer elektrischer Leit-

Tabelle 3.3.1 · Rauchgasdichte von Vectra® A950 (NBS-Rauchgasdichtekammer, ASTM E-662)

	Dicke			
	1,6 mm		3,2 mm	
	flammend	schwelend	flammend	schwelend
spezif. Rauchgasdichte nach 1,5 min	–	–	–	–
spezif. Rauchgasdichte nach 4 min	7	–	3	–
Maximalwert der spezif. Rauchgasdichte	95	2	94	1
Zeit bis zu einer spezif. Rauchgasdichte von 90% des Maximalwertes (in min)	17	20	17	19

Tabelle 3.3.2 · Verbrennungsprodukte (in ppm) von Vectra® A950, (NBS-Rauchgasdichtekammer, ASTM E-662, an 3,2 x 76,2 x 76,2 mm Platten untersucht)

	Dicke			
	1,6 mm		3,2 mm	
	flammend	schwelend	flammend	schwelend
Chlor	–	–	–	–
Phosgen	–	–	–	–
Chlorwasserstoff	–	–	–	–
Fluorwasserstoff	–	–	–	–
Formaldehyd	–	–	–	–
Ammoniak	–	–	–	–
Kohlenmonoxid	320	<10	300	<10
Kohlendioxid	8000	600	7000	600
Stickoxide	5	–	12	–
Cyanwasserstoff	–	–	–	–
Schwefeldioxid	–	–	–	–
Kohlenwasserstoffe als n-Oktane	250	–	300	–

Tabelle 3.3.3 · Wärmefreisetzung von Vectra® A950 (Ohio State University)

Stärke der Testplatte	freigesetzte Wärmemenge nach 2 min (kW min/m ²)	maximale Wärmefreisetzung (kW/m ²)
1,6 mm	16,8	57,8 (nach 177 s)
3,2 mm	2,4	59,2 (nach 293 s)
Grenzwert (FAR)	<65	<65
<i>Erfüllt US-Norm für Luftfahrt-Werkstoffe FAR25.853 (A-1) Teil 4, Anhang F</i>		

Tabelle 3.4.1 · Leitfähige Vectra-Typen

	Vectra A230D-3 Kohlefaser	Vectra A700 Ruß	Vectra A725 Grafit/Ruß
spezif. Durchgangswiderstand* ($\Omega \cdot m$)	10 ⁰	10 ³	10 ¹
spezif. Oberflächenwiderstand (Ω)	10 ¹	10 ⁵	10 ⁴

* gemessen an mit Leitlack beschichteten Platten

Tabelle 3.4.2 · Dielektrische Eigenschaften von Vectra® (nicht metallisiert)

Dielektrizitätszahl, Dk	1 MHz	10 MHz	100 MHz	1 GHz	2 GHz
A130	3,7	3,2	3,5	3,2	–
A430	3,1	2,8	–	–	–
E130i	3,3	3,2	3,2	3,1	–
E471i	3,8	3,7	–	–	–
E820i	3,6	–	–	–	–
S135	3,5	3,4	–	–	–
Dielektrischer Verlustfaktor, tan δ					
A130	0,018	0,008	0,007	0,006	–
A430	0,016	0,008	–	–	–
E130i	0,025	0,02	0,01	0,008	–
E471i	0,031	0,007	–	–	–
E820i	0,03	–	–	–	–
S135	0,009	0,023	–	–	–

Tabelle 3.4.3 · Dielektrische Eigenschaften von Vectra® LCP (Gold bedampft)

Dielektrizitätszahl, Dk	1 MHz	10 MHz	100 MHz	1 GHz	1,8 GHz
A130	5,18	5,05	5,00	5,01	5,00
A430	4,34	4,25	4,20	4,19	4,23
E130i	6,77	6,49	6,33	6,26	6,29
E820i	7,19	6,92	6,79	6,74	6,79
E820i Pd	6,79	6,54	6,42	6,39	6,43
Dielektrischer Verlustfaktor, tan δ					
A130	0,014	0,009	0,006	0,006	0,006
A430	0,009	0,006	0,003	0,004	0,005
E130i	0,019	0,015	0,010	0,004	0,004
E820i	0,016	0,014	0,009	0,004	0,006
E820i Pd	0,016	0,013	0,008	0,003	0,005

fähigkeit lieferbar (vgl. Tab. 3.4.1). Diese Produkte sind für antistatische Anwendungen und zur elektromagnetischen Abschirmung (EMI) sehr gut geeignet.

Zur Ermittlung der dielektrischen Eigenschaften von Werkstoffen gibt es bislang keine einheitliche Industrienorm. Es wurden daher mehrere Messmethoden geprüft. Bei der gewählten Methode (IEC250) wurden aus 0,4 mm dicken Kunststoffplatten runde Probekörper mit einem Durchmesser von 10 mm ausgestanzt und anschließend beidseitig mit einer dünnen Goldschicht bedampft. Durch die Metallisierung werden mögliche Fehlerquellen wie z.B. Oberflächenunebenheiten eliminiert. Eine raue Oberfläche führt durch schlechte Kontaktierung zu tendenziell niedrigeren Dielektrizitätskonstanten (Dk) bzw. höheren Verlustfaktoren (tan δ). Die nach der hier eingesetzten Methode ermittelten Dk-Werte sind daher vergleichsweise höher, die tan δ -Werte tendenziell niedriger, als ohne vorherige Metallisierung gemessene Werte (vgl. anliegendes Blatt). Andererseits sind sie praxisnäher, da Antennen bzw. Abschirmbauteile üblicherweise ebenfalls metallisiert werden. Bei der Materialauswahl anhand von den Dk- bzw. tan δ -Werten ist daher unbedingt die zugrunde liegende Messmethode zu beachten nach der diese dielektrischen Kenngrößen ermittelt wurden.

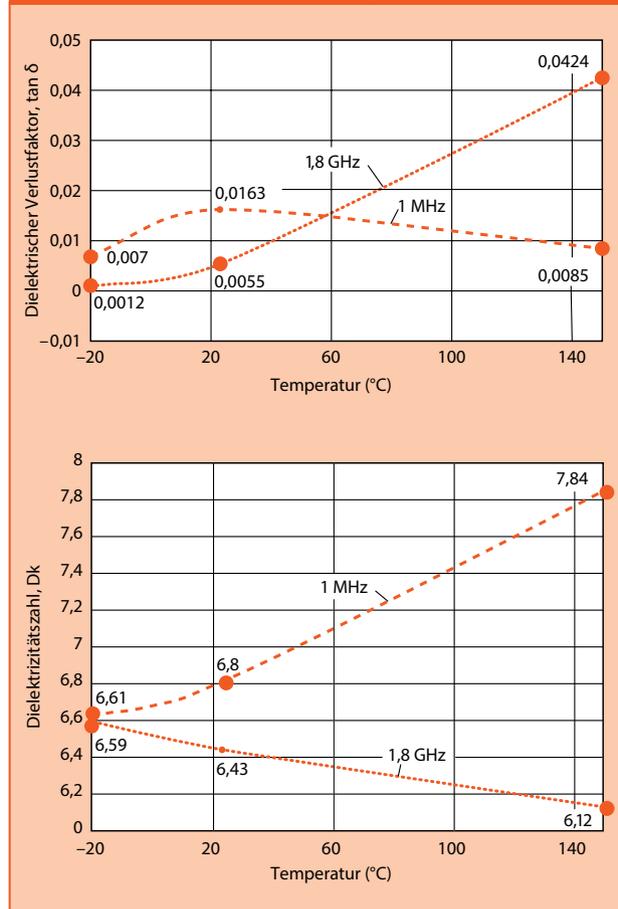
Tabelle 3.4.2 bzw. Tabelle 3.4.3 geben die Dielektrizitätskonstanten (Dk) und Verlustfaktoren (tan δ) einiger ausgewählter, für den Einsatz im Antennen bzw. Abschirmbereich infrage kommenden Vectra-Typen bei verschiedenen Frequenzen an.

Abbildung 3.4.2 zeigt die Frequenzabhängigkeit der Dielektrizitätskonstanten und Verlustfaktoren einiger charakteristischer Vectra-Typen. Die Temperaturabhängigkeit ist in Abbildung 3.4.1 anhand des speziell für die Metallisierung entwickelten Typs E820i Pd dargestellt.

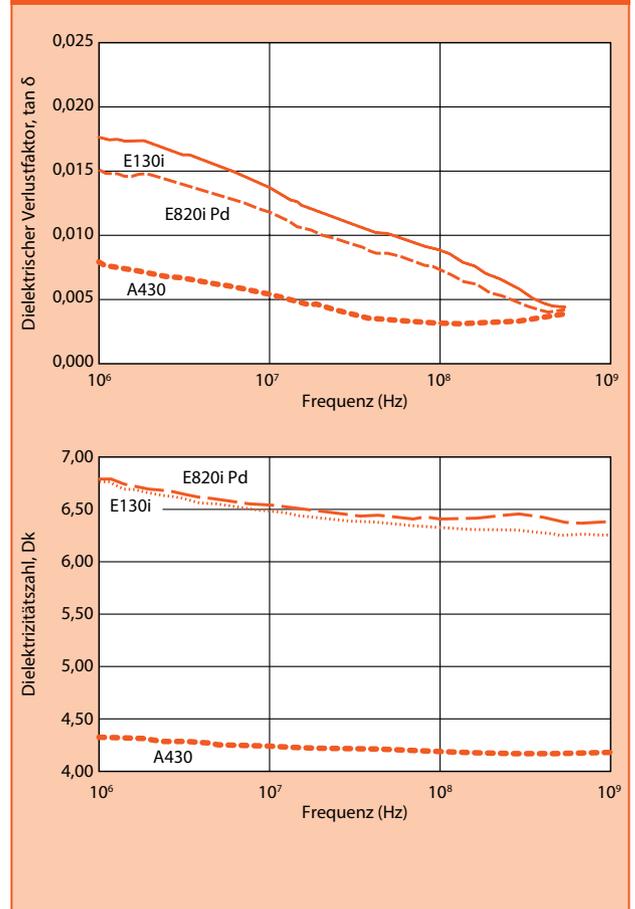
Die Messungen erfolgten durch die Fa. COMTECH Labor für Kunststoffe GmbH München an einem RF-Impedanz-Messgerät Hewlett-Packard HP 4291A im Bereich von 1 MHz bis 1,8 GHz.

Die Listungen der Underwriter Laboratories (UL) enthalten Bewertungen zur Mehrzahl der vorhandenen Vectra-Typen. Darin eingeschlossen sind Messergebnisse, die über die Flammbarkeit, Lichtbogenfestigkeit, Heißdrahtentflammbarkeit, Hoch-Ampere-Lichtbogen-Entflammung, Hochspannungskriechrate sowie den relativen Kriechwegbildungsindex Auskunft geben. Die Daten sind auf einer standardisierten „UL Yellow Card“

Abbild. 3.4.1 · Temperaturabhängigkeit der Dk/tan δ-Werte von Vectra® E820i Pd (Gold bedampft)



Abbild. 3.4.2 · Frequenzabhängigkeit der Dk/tan δ-Werte einiger Vectra®-Typen (Gold bedampft)



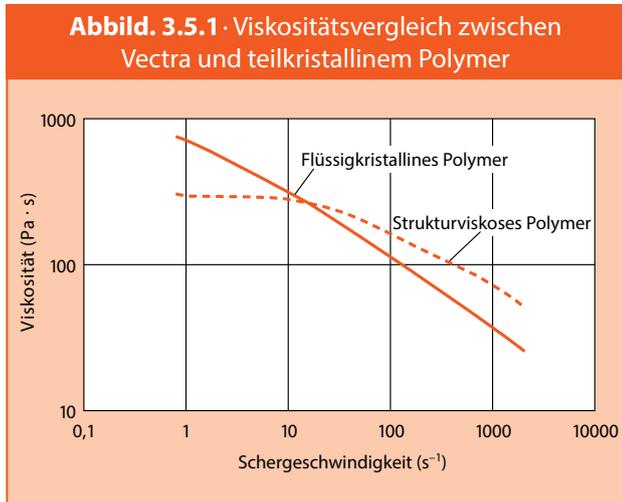
aufgelistet. Viele Vectra-Produkte erlauben den Einsatz von 50% Regenerat ohne wesentliche Beeinträchtigung der in den UL-Listungen angegebenen Eigenschaften.

Darüber hinaus wird bei den UL-Messungen der RTI (= Relativer Thermischer Index) ermittelt. Auf der Grundlage thermischer Alterungsuntersuchungen gibt der

RTI eine Richttemperatur für die verschiedenen Materialtypen an, bei der die langfristige Erhaltung charakteristischer Eigenschaften wie Durchschlagfestigkeit, Zähigkeit und Schlagzähigkeit gewährleistet ist. Vectra hat bis zum Abschluss der Einzeltests aufgrund seiner chemischen Struktur und Erfahrungen aus der Vergangenheit eine allgemeine RTI-Einstufung von 130 °C erhalten.

3.5 Rheologische Eigenschaften

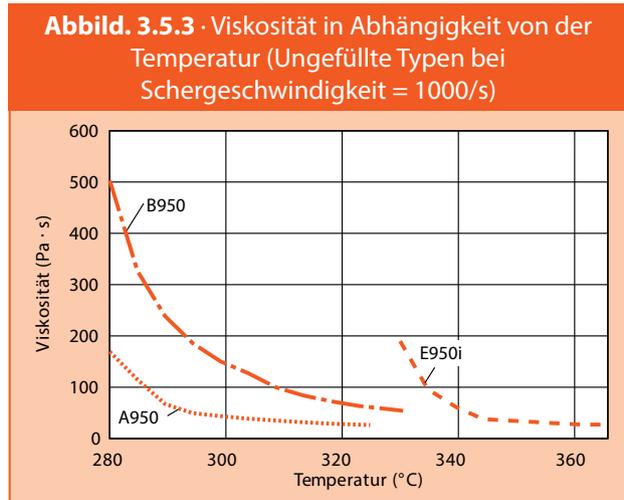
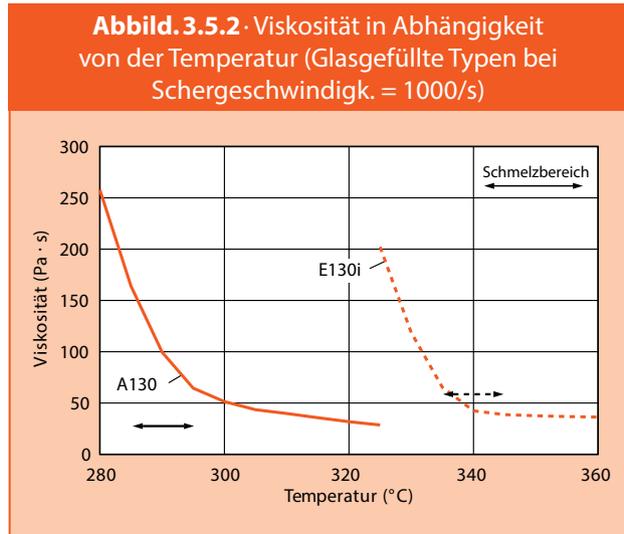
Vectra® LCP besitzt eine nematische Flüssigkristallstruktur. Die Schmelzviskosität nimmt mit zunehmender Schergeschwindigkeit kontinuierlich ab. Bei den Schergeschwindigkeiten, die beim Spritzgießen üblich sind, ist die Viskosität von Vectra niedriger als bei herkömmlichen gefüllten oder verstärkten Polymeren (vgl. Abbildung 3.5.1).



Ein Vergleich der Viskosität als Funktion der Temperatur wird für wichtige glasgefüllte Typen in Abbildung 3.5.2 dargestellt.

Die Schmelzviskosität ausgewählter ungefüllter Vectra-Polymere, die häufig mit Extrudierverfahren verarbeitet werden, sind in Abbildung 3.5.3 aufgelistet.

Mit Vectra können sehr geringe Wanddicken bis unter 0,2 mm realisiert werden. Die Einspritzdrücke sind niedriger als bei den herkömmlichen Polymeren. Aus Vectra können also dünnwandige Miniaturteile und kompliziert geformte Bauteile mit langen Fließwegen hergestellt werden, so z. B. besonders lange, schmale Steckverbinder oder kleine Spulenkörper. Trotz der guten Fließfähigkeit der Schmelze bei hohen Schergeschwindigkeiten, die beim Spritzgießen üblich sind, zeigt Vectra keine Gratbildung. Es ist also möglich, mit Vectra auch dünnwandige Formteile mit freien Kernen gratfrei zu füllen. Dies ermöglicht, beispielsweise bei Steckverbindern und Relaisanteilen, eine erhebliche Reduktion der Fertigungskosten, weil beim Einsatz von Vectra der kostenaufwendige Schritt des Entgratens entfällt.



3.6 Zulassungen und Normen

3.6.1 Lebensmittelkontakt / Bedarfsgegenstände

EU:

Für Kunststoffe ist die Voraussetzung für eine Anwendung mit Lebensmittelkontakt die Listung der eingesetzten Ausgangssubstanzen in der deutschen Bedarfsgegenstände-Verordnung (BG-VO) bzw. anderen nationalen Regelungen wie z.B. den Empfehlungen des BfR (= Bundesinstitut für Risikobewertung, früher: BgVV, davor: BGA). Die BG-VO stellt dabei die nationale Umsetzung der EU-Richtlinie 2002/72/EG („Kunststoffrichtlinie“) und deren vier Novellierungen 2004/1/EG, 2004/19/EG, 2005/79/EG, 2007/19/EG dar.

Enthalten dort gelistete Substanzen Beschränkungen, so sind diese am Fertigteil vom Hersteller oder Verkäufer zu prüfen. Besteht der Kunststoff aus gelisteten Substanzen, die keiner individuellen Beschränkung unterliegen, so ist die Globalmigration am Fertigteil zu prüfen.

Die meisten Ausgangsstoffe unserer Vectra-Typen sind in der EU-Richtlinie 2002/72/EG (und der BG-VO) gelistet, d.h. die entsprechenden Vectra-Typen sind für den Einsatz im Kontakt mit Lebensmitteln in der EU prinzipiell geeignet.

USA:

Viele Vectra-Typen entsprechen den Bestimmungen für Lebensmittelkontakt der FDA (Food and Drug Administration). Sie sind gemäß dem System der Premarket Notifications durch die folgenden Food Contact Notifications (FCN) für den Lebensmittelkontakt zugelassen: FCN Nr. 103 und FCN Nr. 423. Diese FCN's können über die FDA-Website im Detail eingesehen werden. (<http://www.cfsan.fda.gov>)

3.6.2 Trinkwasser-Anwendungen

Vectra-Typen sind prinzipiell für den Einsatz im Trinkwasserbereich geeignet. In verschiedenen Ländern gibt es unterschiedliche Anmeldeverfahren, wobei das Anmeldeprozedere bei allen Ländern nach dem gleichen Prinzip erfolgt. Der Endkunde schickt sein Produkt an das Prüfinstitut, welches dann – auf Anfrage – vom Materialhersteller (= Celanese) die entsprechende Rezeptur erhält und die Prüfung durchführt. Schließlich wird der Endkunde über die bestandene Prüfung informiert und bekommt ein entsprechendes Prüfzertifikat vom Prüfinstitut.

In einigen Ländern hat Celanese die entsprechenden Untersuchungen für Standardtypen an Testkörpern durchgeführt und bestanden, um dem Endkunden die größtmögliche Sicherheit zu geben, dass sein Produkt dann ebenfalls diese Prüfung besteht. Das Vorliegen eines solchen „Materialprüfzertifikates“ entbindet jedoch nicht von der Prüfung am Endprodukt.

Die wichtigsten Anmeldeverfahren der EU-Länder UK, FR, DE und den USA unterscheiden sich auch in einigen Details, die bei den Materialtests zu Zulassungen berücksichtigt worden sind bzw. zu berücksichtigen sind:

UK – WRAS:

Im britischen WRAS (=Water Regulations Advisory Scheme) müssen alle Materialien gelistet sein, damit ein Test überhaupt durchgeführt werden kann: verschiedene Vectra-Typen sind gelistet, und für den Kontakt mit Trinkwasser bis zu einer Temperatur von 85°C „vorgetestet“ – diese können auf der Website von WRAS abgerufen werden. (<http://www.wras.co.uk>)

DE – KTW

In Deutschland absolvierten einige wenige Vectra-Typen exemplarisch die KTW-Tests (KTW = Kunststoffe im Trinkwasserbereich), die an Platten durchgeführt wurden. Die Platten wurden sowohl dem Kalt- als auch dem Heißwasser (90°C)-Test unterworfen. Das uns hierzu vorliegende KTW-Zertifikat ist auf Anfrage erhältlich.

Die mikrobiologische Prüfung gemäß Arbeitsblatt W270 wurde ebenfalls exemplarisch an einer Vectra-Type durchgeführt.

USA – NSF

Für Trinkwasseranwendungen in den USA wird z. Z. eine Vectra-Type gemäß den hierfür benötigten Anforderungen des NSF-Standards 61 (NSF = National Sanitary Foundation) getestet. Aufgrund bereits bestandener Tests in anderen Ländern erwarten wir ein positives Testergebnis und eine entsprechende Listung auf der NSF Webseite in ca. 4 – 6 Monaten.

FR – ACS

Bisher wurden keine Tests gemäß den französischen ACS-Anforderungen (Attestation Conforme Sanitaire) durchgeführt.

Wichtige Information: Die Trinkwasser-Regularien decken Produkte des Trinkwasserversorgungs-Systems vom öffentlichen Wasserspeicher über das Rohrsystem, Hausinstallationen bis zum Ende des Wasserhahnes ab. Hat das Wasser diesen verlassen greifen für Produkte, die als Bedarfsgegenstand mit dem Wasser in Berührung kommen ausschließlich die Lebensmittel-Bedarfsgegenstände-Regularien (siehe auch Kap 3.5.1.).

3.6.3 Medizinische/Pharma – Anwendungen

Die Vectra MT-Produkte wurden speziell für die Anwendung im medizinischen und pharmazeutischen Bereich konzipiert. Aus diesem Grunde werden für diese Produkte zusätzliche Kriterien – neben der Lebensmittelkonformität – erfüllt:

- Kontinuität der Rezeptur
- Freiheit von Additiven tierischen Ursprungs (BSE-Freiheit)
- Listung im Drug Master File (DMF) der FDA
- Listung im Device Master File (MAF) der FDA
- Biokompatibilitäts-Test gemäß USP (United States Pharmacopoe) class VI und/oder ISO 10993 (ISO 10993-5; -10; -11)

Zusätzlich wurden für einige Typen auch Zytotoxizitäts- und Pyrogenitäts-Tests durchgeführt.

3.6.4 Brandklasseneinstufung der Underwriters Laboratories (UL)

Vectra LCP zeichnet sich durch seine inhärente Flammwidrigkeit aus. Die meisten im Handel erhältlichen Vectra-Produkte sind bei UL mit der Brandklasse V-0 gelistet. Einzelheiten zu den Eigenschaften und Einteilungen der Materialien sind auf den entsprechenden Yellow Cards aufgeführt und können der UL-Homepage entnommen werden. (<http://www.ul.com>)

Darüber hinausgehende Informationen liefert Ihnen der technische Kundenservice der Celanese.

3.6.5 Brandklasseneinstufung der Canadian Standards Association (CSA)

Die Canadian Standards Association (CSA) erkennt die meisten handelsüblichen Vectra-Produkte an. Um Informationen über einzelne Typen zu erhalten wenden Sie sich bitte an den technischen Kundenservice von Celanese.

3.6.6 Industriestandards

Vectra-Produkte entsprechen vielen Standards der Elektro- und Automobilindustrie zur Abwesenheit von Schadstoffen, u. a. der JIG-Liste der Elektroindustrie (Joint Industrial Guidance) und GADSL (Global Automotive Declarable Substance List). Zudem liegt für einige Produkte ein IMDS-Eintrag (IMDS = International Material Data System) vor.

3.6.7 Stoffliche Verwertung

Vectra-Typen entsprechen bezüglich der Abwesenheit von Schadstoffen den Bestimmungen der Elektro- und Elektronikschrott-Richtlinie (WEEE-Richtlinie), der RoHS-Richtlinie (Restriction of Hazardous Substances), sowie der Altauto-Richtlinie der EU.

Für weitere Zulassungen oder Fragen zur Konformität der einzelnen Produkte wenden Sie sich bitte an den technischen Kundenservice der Celanese.

4. Verhalten gegenüber Umgebungseinflüssen

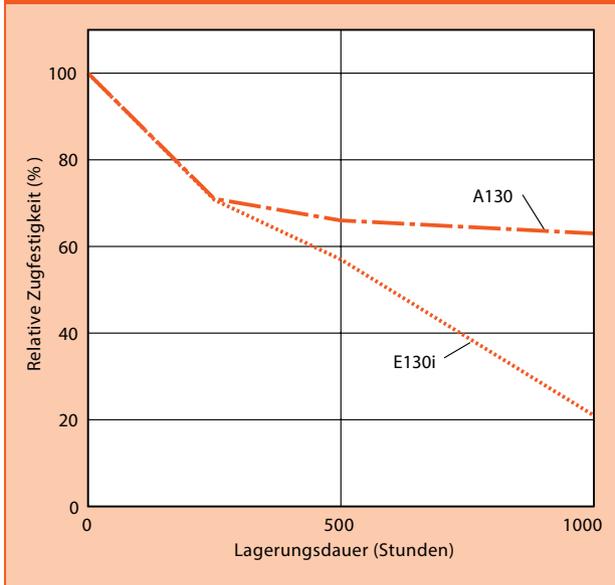
4.1 Hydrolyse

Vectra weist, verglichen mit anderen Polyestern, eine ausgesprochen gute Hydrolysebeständigkeit auf. Die Abbildungen 4.1.1 bis 4.1.4 zeigen die Ergebnisse von Lagerungsversuchen in Heißwasser und Dampf.

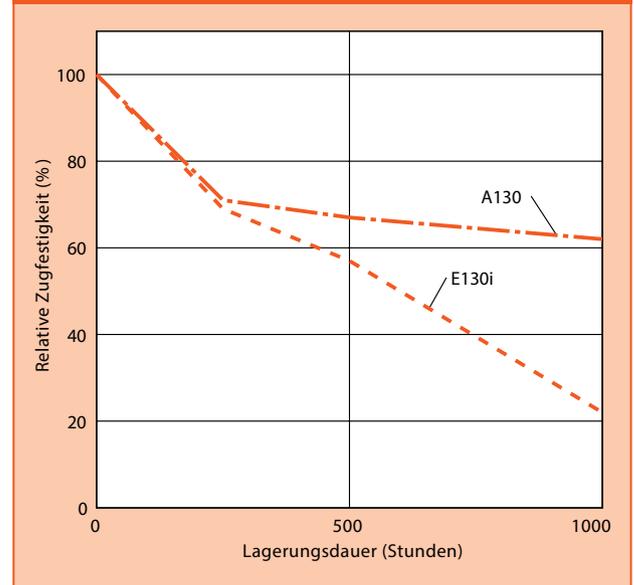
Längere Einwirkung bei hohen Temperaturen führt zu einem allmählichen hydrolytischen Abbau.

Vectra besitzt eine außergewöhnlich niedrige Gleichgewichtsfeuchte. (vgl. beigefügte Produkt-Information).

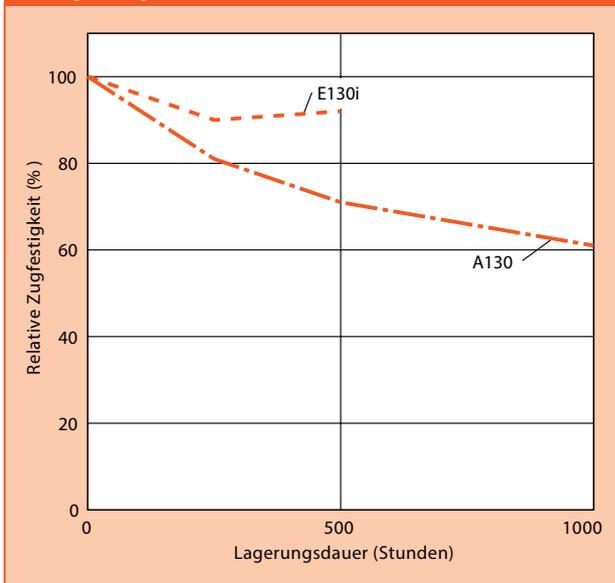
Abbild. 4.1.1 · Zugfestigkeit in Abhängigkeit von der Lagerungsdauer in heißem Wasser (120°C, 2 bar)



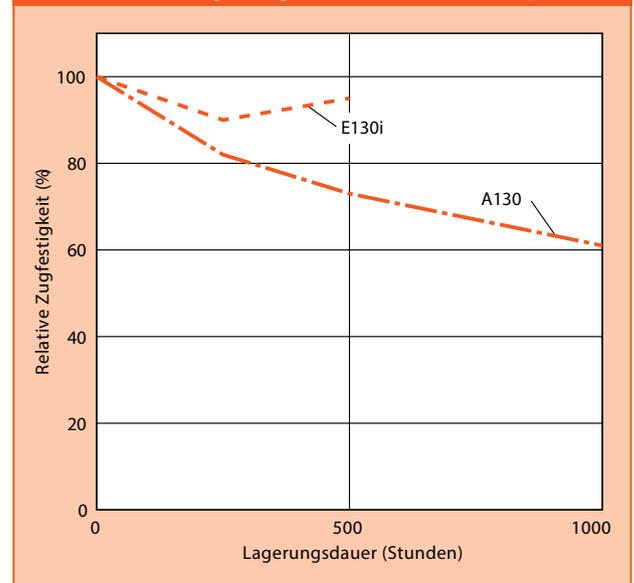
Abbild. 4.1.3 · Zugfestigkeit in Abhängigkeit von der Lagerungsdauer in Wasserdampf



Abbild. 4.1.2 · Zug-E-Modul in Abhängigkeit von der Lagerungsdauer in heißem Wasser (120°C, 2 bar)



Abbild. 4.1.4 · Zug-E-Modul in Abhängigkeit von der Lagerungsdauer in Wasserdampf



4.2 Chemikalien- und Lösungsmittelbeständigkeit

Vectra besitzt eine sehr gute Beständigkeit gegenüber Chemikalien, insbesondere gegenüber organischen Lösemitteln. Dies gilt auch bei hohen Temperaturen und somit beispielsweise auch gegenüber den Reinigungsmitteln, die in der Elektronikindustrie gebräuchlich sind. Weniger stark ist die Beständigkeit gegenüber konzentrierten Mineralsäuren und Laugen (organischen und anorganischen) bei erhöhten Temperaturen.

Die Beständigkeit gegenüber Methanol und methanolhaltigen Kraftstoffen hängt sehr von der Temperatur und dem Exponierungsgrad ab. Bei Anwendungen mit ständigem Kontakt zu methanolhaltigem Kraftstoff sollten 70°C nicht überschritten werden. Die Untersuchungsergebnisse bei einer Reihe von Chemikalien, Lösungsmitteln und Kraftstoffen sind in Tabelle 4.2.1 wiedergegeben. Die Ergebnisse wurden an spritzgegossenen Probekörpern ermittelt. Dabei wirkte keine äußere Beanspruchung auf die Proben ein. Die zusätzliche Wirkung mechanischer Belastungen kann die Chemikalienbeständigkeit verändern. Die Angaben dienen daher nur zur ersten Orientierung. In der Praxis sollten Formteile oder Probekörper aus Vectra geprüft werden, indem man sie den tatsächlichen Betriebsbedingungen aussetzt. Änderungen in der Konzentration, der Temperatur oder der Mischung von Substanzen können die Beständigkeit signifikant verändern.

Fünf Stäbe mit den Abmessungen 127 mm x 12,7 mm x 3,2 mm wurden in dem jeweiligen Medium ohne äußere Belastungen gelagert. Veränderungen des Gewichts, der Dimensionen, der Biegefestigkeit, des Biege-E-Moduls und der Härte wurden gemessen.

Tabelle 4.2.1 · Chemikalienbeständigkeit

Substanz	Prüfbedingungen (Zeit, Temperatur)	Vectra-Typ	Bewertung
Bewertung:			
+ beständig – weniger als 2% Gewichts- und Dimensionsveränderung, weniger als 5% Veränderung mechanischer Eigenschaften.			
o bedingt beständig			
– nicht beständig			
Aceton	180 Tage/56°C	A950 A130 A625	+ + +
Acetonitril	120 Tage/23°C	A625	+
Ameisensäure (80%)	30 Tage/104°C	A950 A625	+ +
	270 Tage/104°C	A950 A625	o o
	455 Tage/104°C	A950	–
Bremsflüssigkeit			
Castrol® TLX 988C	30 Tage/121°C	A130 A950 B950	o + +
NAPA® Typ DOT-3	90 Tage/121°C 90 Tage/121°C	A130 A130	– o
Chlorgas	180 Tage/23°C	A950 A130 A625	+ + +
Chlor/Wasser (gesättigte Lösung)	180 Tage/23°C	A950 A130 A625	+ + +
Chlorwasserstoff (wasserfrei)	30 Tage/23°C	A950	–
Chromsäure (50%)	90 Tage/50°C 180 Tage/50°C	A625 A950 A130 A625	+ + o o
	30 Tage/70°C	A950 A130	+ +
	60 Tage/70°C	A950 A130	+ o
Chromsäure (70%)	30 Tage/88°C	A950 A130 A625	+ o o
Dimethylformamid (DMF)	180 Tage/66°C	A950 A130 A625	+ + +
Diphenylamin	180 Tage/66°C	A950 A130 A625	+ + +
Diphenylcarbonat	10 Tage/250°C	A950	–
Essigsäure (100%)	30 Tage/118°C 20 Tage/23°C	A950 A625	+ +
Ethanol	30 Tage/52°C	A950	+
Ethylacetat	180 Tage/77°C	A950 A130 A625	+ + +

Tabelle 4.2.1 · Chemikalienbeständigkeit (Fortsetzung)

Substanz	Prüfbedingungen (Zeit, Temperatur)	Vectra-Typ	Bewertung
Ethylendiamin	30 Tage/100°C	A950	–
		A950	+
	180 Tage/23°C	A130	o
		A625	+
Ethylenglykol (Frostschutzmittel/Wasser 50/50)	30 Tage/50°C	A950	+
	30 Tage/121°C	A950	o
		B950	o
		A150	–
Fluorinert® FC-70	1 Tag/215°C	A950	+
		A130	+
Harnstoff (46%)	60 Tage/88°C	A950	o
		A130	–
		A625	o
Hexafluoroisopropanol	10 Tage/25°C	A950	–
Hexan	10 Tage/23°C	A625	+
Flußsäure (wasserfrei)	30 Tage/23°C	A950	–
Iso-Oktan	14 Tage/60°C	A625	+
	120 Tage/23°C	A625	+
Kraftstoffe:			
Kraftstoff C nach ASTM D471	30 Tage/121°C	A950	+
		B950	+
		A130	o
50/50 Iso-Oktan/Toluol	90 Tage/121°C	A130	o
		A130	+
Kraftstoff C + 20% Methanol	125 Tage/60°C	A130	+
		A230D-3	o
Kraftstoff C + 20% Ethanol	125 Tage/60°C	A130	+
		A230D-3	o
Kraftstoff M-85	20 Tage/121°C	A130	–
		A950	+
Kraftstoff Benzin, bleifrei	30 Tage/121°C	B950	+
		A130	+
		A130	+
Kraftstoff Benzin bleifrei + 10% Methanol	90 Tage/121°C	A130	+
	30 Tage/121°C	A950	o
		B950	o
		A130	–
Kraftstoff Benzin mit 70/30 Heptan/Toluol, Kupferion, t-Butyl-hydroperoxid	90 Tage/121°C	A130	o
	90 Tage/93°C	A130	o
		A625	+
Kraftstoff Benzin mit 70/30 Heptan/Toluol, Kupferion, t-Butyl-hydroperoxid	30 Tage/121°C	A950	+
		B950	+
Kühlmittel			
Kühlmittel R-22	30 Tage/80°C	A950	+
		A625	+
Kühlmittel R-12 + 5% Kältemaschinenöl	60 Tage/100°C	A625	+
		A625	+
Kühlmittel 113	180 Tage/47°C	A950	+
		A130	+
		A625	+
Kühlmittel R134A + 5% Kältemaschinenöl	60 Tage/100°C	A625	+
		A625	+
Kühlmittel H-FCKW 123	10 Tage/50°C	A130	+ ⁽¹⁾
Methanol	30 Tage/64°C	A950	+
		B950	+
	90 Tage/64°C	A130	+
		45 Tage/110°C	A130
Methylenchlorid	180 Tage/40°C	A950	+
		A130	o
		A625	+

Tabelle 4.2.1 · Chemikalienbeständigkeit (Fortsetzung)

Substanz	Prüfbedingungen (Zeit, Temperatur)	Vectra-Typ	Bewertung	
Monochloressigsäure	180 Tage/50°C	A950	+	
		A130	+	
		A625	+	
Morpholin (200 ppm/Wasserdampf) (Tetrahydro-Oxazin)	10 Tage/132°C	A130	+	
Natronlauge (5%)	90 Tage/23°C	A950	+	
		A130	+	
		A625	+	
	180 Tage/23°C	A950	+	
		A130	o	
		A625	o	
	30 Tage/70°C	A950	+	
		A130	o	
		A950	o	
	60 Tage/70°C	A130	o	
A130		o		
A950		o		
180 Tage/70°C	A950	o		
	A130	–		
	A625	–		
Natronlauge (10%)	90 Tage/23°C	A950	+	
		B950	o	
	180 Tage/23°C	A950	+	
		A130	+	
	30 Tage/88°C	A625	o	
		A950	o	
Natronlauge (30%)	30 Tage/88°C	A130	–	
		A950	–	
	30 Tage/88°C	A130	–	
		A625	–	
	Natriumhypochlorit (12.5%)	28 Tage/23°C	A130	o
		28 Tage/70°C	A130	–
Nitrobenzol	30 Tage/66°C	A950	+	
Nitroglyzerin	30 Tage/66°C	A950	+	
Öl				
Motoröl, 10W-30	30 Tage/121°C	A950	+	
		B950	+	
		A130	+	
Stoßdämpferöl (Shell® GHD 15)	40 Tage/150°C	A130	+	
		A130	+	
Silikonöl	30 Tage/200°C	A950	+	
	30 Tage/71°C	A950	+	
Hydrauliköl (Skydrol®)	30 Tage/149°C	B950	+	
		A625	+	
Getriebeöl (Dexron® II)	30 Tage/149°C	A625	+	
	90 Tage/149°C	A625	+	
Pentafluorphenol	10 Tage/60°C	A950	–	
Phenol	100 Tage/100°C	A950	+	
		A130	o	
		A625	+	
Salpetersäure (50%)	120 Tage/23°C	A625	+	
		A950	+	
		A130	+	
	60 Tage/70°C	A625	+	
		A950	+	
		A130	o	
Salpetersäure (70%)	180 Tage/70°C	A625	+	
		A950	+	
		A130	o	
	30 Tage/88°C	A625	+	
		A950	o	
		A130	–	
	A625	o		

Tabelle 4.2.1 · Chemikalienbeständigkeit (Fortsetzung)

Substanz	Prüfbedingungen (Zeit, Temperatur)	Vectra-Typ	Bewertung
Salzsäure (37%)	30 Tage/88°C	A950	+
		A130	o
		A625	o
	120 Tage/88°C	A950	o
		A130	o
		A625	o
Schwefelsäure (50%)	180 Tage/88°C	A950	+
		A130	+
		A625	+
Schwefelsäure (70%)	5 Tage/190°C	A950	-
		A130	-
		A625	-
Schwefelsäure (93%)	8 Tage/23°C	A950	o
		A625	o
		B950	-
	30 Tage/121°C	A950	-
		A130	-
		A625	-
		A950	-
Tetrahydrofuran (THF)	120 Tage/23°C	A625	+
Toluol	180 Tage/111°C	A950	+
		A130	+
		A625	+
Trichlorethan	90 Tage/66°C	A950	+
Wasser	10 Tage/121°C	A950	+
	40 Tage/121°C	A950	o
		A625	+
Wasserdampf	60 Tage/121°C	A950	o
		A130	o
		A625	+
	70 Tage/121°C	A950	o
		A130	o
		A625	+
⁽¹⁾ Gewichtsveränderung wurde lediglich an 60 x 60 x 4 mm Platten ermittelt			
Castrol®	TLX ist ein eingetragenes Warenzeichen der Castrol GmbH.		
NAPA®	ist ein eingetragenes Warenzeichen der National Automotive Parts Association.		
SKYDROL®	ist ein eingetragenes Warenzeichen der Monsanto Co.		
DEXRON®	ist ein eingetragenes Warenzeichen der General Motor Corp.		
Fluorinert®	ist ein eingetragenes Warenzeichen der Minnesota Mining und Manufacturing Co.		
Shell®	ist ein eingetragenes Warenzeichen der Shell Oil Co.		

4.3 Durchlässigkeit für Gase und Dämpfe

Vectra ist außerordentlich undurchlässig für Gase und Wasserdampf. Abbildung 4.3.1 zeigt die Überlegenheit des ungefüllten Vectra-Polymers gegenüber konventionellen Barrierewerkstoffen wie Ethylen-Vinylalkohol-Copolymer (EVOH), Polyvinylidenchlorid (PVDC), MXD6 (ein Copolyamid von Meta-Xylendiamin und Adipinsäure), und PCTFE (Polychlortrifluorethylen). Die größere Undurchlässigkeit von Vectra erlaubt den Einsatz dünnerer Sperrschichten in coextrudierten Strukturen. Bei der Herstellung von flüssig-kristalliner Monoschichtfolie, muß auf Fibrillierung geachtet werden. Dieser Anisotropie kann durch Nachbearbeitungstechniken wie der biaxialen Orientierung begegnet werden. (vgl. Abschnitt 7. Extrusion). Die Wasserstoffdurchlässigkeit von Vectra LCP wird in Tabelle 4.3.1 gezeigt.

4.4 Strahlenbeständigkeit

Vectra hat eine hervorragende Beständigkeit gegenüber Gammastrahlen. Tabelle 4.4.1 zeigt die Wirkung von Cobalt-60-Strahlung auf die mechanischen Eigenschaften von Vectra A950.

4.5 UV- und Witterungsbeständigkeit

Vectra verändert sich bei Bewitterung im Laufe der Zeit, wie man es auch von anderen Kunststoffen kennt; Ursache hierfür ist primär die UV-Strahlung. Sie bewirkt die Bildung eines weißen Belags abgebauten Materials an der Oberfläche („Auskreiden“) und in der Folge Glanzverlust und Farbveränderungen sowie eine Verringerung der mechanischen Eigenschaftswerte.

Nach künstlicher Bewitterung von 2000 h Dauer wiesen Formteile aus Vectra noch immer mechanische Eigenschaftswerte auf, die bei über 90% der Ausgangswerte lagen (vgl. Tabelle 4.5.1). Nach einjähriger Außenbewitterung wurde ein geringer weißer Belag festgestellt.

Abbild. 4.3.1 · Durchlässigkeit verschiedener Polymerfolien (Folienstärke 25 µm)

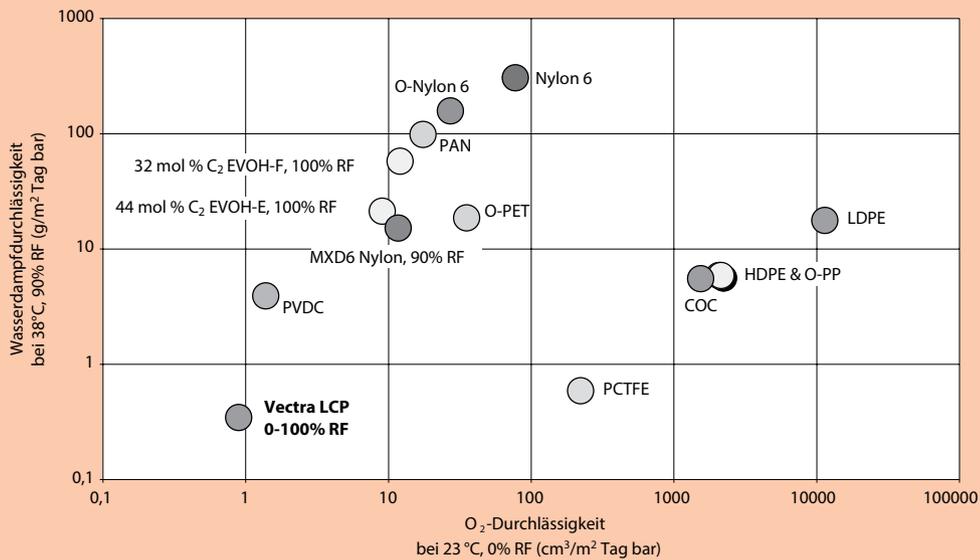


Tabelle 4.3.1 · Sauerstoff- bzw. Wasserdampfdurchlässigkeit verschiedener Polymerfolien (Folienstärke 25 µm)

Produkt	O ₂ -Durchlässigkeit	Wasserdampfdurchlässigkeit
	23°C, 0% RF cm ³ /m ² Tag bar	38°C, 90% RF g/m ² Tag bar
Vectra LCP	0,9	0,3
COC	1515,4	1,1
EVOH-E 100% RF	9,1	21,4
EVOH-F 100% RF	12,0	57,9
PVDC	1,4	3,9
MXD6	11,7	15,3
MXD6 + Co	0,3	15,3
PAN	17,5	98,4
O-Nylon 6 (orientiert)	27,2	158,1
Nylon 6	77,3	307,1
O-PET (orientiert)	35,2	18,6
PCTFE	221,5	0,6
O-PP (orientiert)	2067,1	5,9
HDPE	2137,0	5,9

Tabelle 4.3.2 · Wasserstoffdurchlässigkeit von Vectra®

Produkt	Test Spezifikationen	H ₂ Durchlässigkeit cm ³ /m ² Tag bar	Folienstärke
Vectra A950	40 °C, 0% RF	78	50 µm
Vectra A950	150 °C, 0% RF	98	2,5 mm
Vectra E130i	150 °C, 0% RF	104	2,5 mm

Tabelle 4.4.1 · Cobalt-60-Strahlung bei Vectra® A950 (Rel. Erhaltung der Eigenschaften in %)

Strahlungsdosis	25 mrad	100 mrad	250 mrad	500 mrad
Zugfestigkeit ⁽¹⁾	97	95	95	95
Zug-E-Modul ⁽¹⁾	100	100	106	106
Reißdehnung ⁽¹⁾	81	81	79	79
Biegefestigkeit ⁽²⁾	101	102	102	102
Biege-E-Modul ⁽²⁾	108	108	116	125
HDT bei 1,82 MPa ⁽³⁾	100	100	100	94

⁽¹⁾ ASTM D638 ⁽²⁾ ASTM D790 ⁽³⁾ ASTM D648

Tabelle 4.5.1 · Eigenschaften von Vectra nach 2000h künstlicher Bewitterung (ASTM D2565 – Xenon-Bogenlampe, Lufttemperatur 125°C, alle 202 min Besprühen mit Wasser 18 min lang, Eigenschaftsniveau in %)

	Vectra A950	Vectra A130
Zugfestigkeit ⁽¹⁾	95	95
Zug-E-Modul ⁽¹⁾	90	98
Biegefestigkeit ⁽²⁾	95	95
Biege-E-Modul ⁽²⁾	95	95
HDT bei 1,82 MPa ⁽³⁾	90	92
Izod Kerbschlagzähigkeit ⁽⁴⁾	90	95

⁽¹⁾ ASTM D638 ⁽²⁾ ASTM D790 ⁽³⁾ ASTM D648 ⁽⁴⁾ ASTM D256

5. Verarbeitung

Vectra ist gut geeignet für herkömmliche Verarbeitungsmethoden wie Spritzgießen und Extrudieren. Die bei Vectra am häufigsten angewandte Verarbeitungsmethode ist das Spritzgießverfahren. Die kurzen Zykluszeiten, die leichte Verarbeitbarkeit und die Möglichkeit, Regranulatmengen (sortenrein) beizumischen, erhöhen dabei die Wirtschaftlichkeit.

Aufgrund der exzellenten Fließfähigkeit bei gleichzeitig geringer Neigung zur Gratbildung können sehr lange, dünnwandige Formteile realisiert werden.

5.1 Sicherheitsempfehlungen

Die Verarbeitung von Vectra ist unkritisch, sofern die allgemeinen industriellen Sicherheitsempfehlungen beachtet wurden. Wie die meisten Polymere zersetzen sich LCPs beim Überhitzen. Bei unzureichender Lüftung können sich somit Zersetzungsprodukte ansammeln, die dann gesundheitsschädlich wirken können.

Daher sollte für ein gut funktionierendes Lüftungssystem gesorgt werden.

Um thermischen Abbau, Gasentwicklung und Druckabfall im Zylinder auszuschließen, sollten die Masstemperaturen der A-Serie 330°C, der Ei-Serie 360°C und bei der S-Serie 380°C nicht übersteigen. Diese Temperaturen liegen weit über dem Bereich der normalen Verarbeitungstemperaturen. Bei längeren Unterbrechungen (>10 min.) sollte die Schnecke trocken gefahren und das Zylinder-Temperaturprofil um mindestens 100°C abgesenkt werden. Bezüglich den empfohlenen Verarbeitungsbedingungen ist Abschnitt 6.2 zu beachten.

Weitere wichtige Vorsichtsmaßnahmen:

- Es ist genügend Zeit zum Aufheizen der Maschine vorzusehen. Der Zylinder sollte die Verarbeitungstemperatur 5 Minuten vor der Zuführung des Granulats oder der Inbetriebnahme der Schnecke erreicht haben.
- Beim Umgang mit heißen Werkstoffen und Werkzeugen sind Schutzhandschuhe, Schutzkleidung und Schutzbrillen zu tragen.
- Beim Abschalten der Maschine ist das Spritzaggregat zurückzufahren.

Für alle Vectra-Typen stehen Sicherheitsdatenblätter zur Verfügung. Bitte beachten Sie diese für jeden einzelnen Typ vor der Verarbeitung.

5.1.1 Anfahr- und Abstellprozesse

Arbeitsbeginn

Die Zylindertemperaturen werden auf die für die Verarbeitung erforderliche Höhe eingestellt. Nach Erreichen der Sollwerte wird weitere 5 Minuten gewartet. Nach Füllen des Plastifizierzylinders werden einige Schuss ins Freie gespritzt. Dabei ist die Düsentemperatur besonders zu beachten. Bei zu niedriger Temperatur erstarrt die Masse und blockiert die Düse. Wenn die Masstemperatur im freien Schuss mittels eines Einstichthermometers geprüft wurde und die Masse einwandfrei fließt, kann mit der Verarbeitung begonnen werden.

Kurze und lange Unterbrechungen

Bei Unterbrechungen (< 10 min.) sind keine besonderen Vorsichtsmaßnahmen erforderlich. Bei längerer Arbeitsunterbrechung sollte das Temperaturprofil um mindestens 100°C abgesenkt werden, nachdem vorher die Schmelze aus dem Zylinder entfernt wurde (Abpumpen).

Übergang von anderen Thermoplasten auf Vectra

Da viele andere Kunststoffe bei den Verarbeitungstemperaturen von Vectra weniger Wärmestabilität zeigen, empfiehlt es sich, diese vorher möglichst gründlich aus der Maschine zu entfernen. Ein für das Sauberfahren geeignetes Material ist z. B. Polypropylen (Glasfasertypen zeigen eine bessere Reinigungswirkung).

Damit wird bei der entsprechenden Masstemperatur des Vectra-Typs solange ins Freie abgespritzt, bis das Spülmaterial sauber austritt. Bevor die Zylindertemperaturen auf die für Vectra empfohlenen Werte eingestellt werden, muss das Spritzaggregat leergefahren werden. Nach Erreichen der Solltemperaturen wird bei zurück gefahrenem Zylinder so lange mit Vectra ausgespritzt, bis die Schmelze frei von Spülmaterial ist. Wenn das erreicht ist, kann mit dem Spritzgießen der Formteile begonnen werden.

Wechsel zwischen verschiedenen Vectra-Typen

Es ist möglich, verschiedene Vectra-Typen nacheinander zu verarbeiten. Dabei kann ohne Zwischenpolymere ein Typ zur Entfernung eines anderen benutzt werden. Der vorherige Werkstoff wird dazu zunächst vollständig abgepumpt, um dann durch den folgenden verdrängt zu werden. Bei Farbwechsel (besonders von schwarz auf natur) ist besonders darauf zu achten, dass die Farbe des vorherigen Materials vollständig aus der Maschine entfernt wird.

Abstellen der Maschine

Wenn nach der Betriebsunterbrechung erneut Vectra verarbeitet werden soll, muss das Spritzaggregat lediglich leergefahren werden. Im Anschluss daran können die Zylinder- und Düsenheizelemente abgeschaltet werden. Beim Wechsel zu einem anderen Thermoplasten muss Vectra zuvor mit Polypropylen entfernt werden. Die Temperaturen sollten auf die Verarbeitungstemperaturen von Vectra eingestellt bleiben, da bei verfrühter Absenkung Werkstoffreste nicht mehr ausgespült werden können.

5.1.2 Brandschutz

Vectra ist inhärent flammwidrig. Trotzdem empfiehlt es sich, von der Lagerung bis zur Verarbeitung des Kunststoffes vorbeugende Brandschutzmaßnahmen zu beachten. Maßgeblich sind die am jeweiligen Verarbeitungs- oder Lagerungsort geltenden gesetzlichen Vorschriften. Für bestimmte Endprodukte und Anwendungsbereiche können besondere brandtechnische Anforderungen bestehen. Es obliegt der Verantwortung des Rohstoffverarbeiters, diese zu ermitteln und einzuhalten.

5.2 Trocknung

Vectra Kunststoffe sind für ihre geringe Wasseraufnahme bekannt. Um dennoch optimale Formteileigenschaften sicherzustellen, sollten der Kunststoff und eventuelles Recyclat vor der Verarbeitung korrekt getrocknet werden. Wenn der Kunststoff nicht effektiv getrocknet wurde, kann Restfeuchte zu Lunkern, Ausgasungen (sog. Blistern) und in Extremfällen zur Zersetzung des Materials führen, wodurch minderwertige Formteile resultieren können. Daher ist es wichtig, das Material unter den empfohlenen Bedingungen mit geeigneten Vorrichtungen zu trocknen.

Um die Qualität der Formteile sicherzustellen, werden Trockenlufttrockner mit zwei oder mehr Adsorptionskartuschen dringend empfohlen. Solche Trockner ermöglichen die Zuführung trockenerer Luft zu dem Kunststoff als Trockner mit einem Bett und reduzieren damit sowohl den Feuchtigkeitsgehalt als auch die für die Trocknung erforderliche Zeit.

Das Material sollte vor Beginn der Trocknungszeit bereits die für die Trocknung empfohlene Temperatur erreicht haben. Wenn ein Kunststoff bei Raumtemperatur in einen Trichter gegeben wird, kann es 2 bis 6 Stunden dauern bis das Material die erforderliche Trocknungstemperatur erreicht. Diese Zeitspanne variiert in Abhängigkeit vom Wärmeverhalten des Kunststoffes, der Masse des zu trocknenden Materials und der Dimensionierung des Trichters. Ferner spielt auch die Anbringung der Temperatursonde eine Rolle, welche die Temperatur der dem Trichter zugeführten Luft misst. Trocknersysteme, bei denen die Lufttemperatur nicht am Eingang des Trichters gemessen wird, geben möglicherweise die Temperatur der zugeführten Luft nicht präzise wieder. Dies ist darauf zurückzuführen, dass es zwischen dem Ausgang der Trockereinheit und dem Eingang des Trichters zu einem signifikanten Wärmeverlust kommen kann. Selbst mit isolierten Rohren kann ein Wärmeverlust zu einer bis zu 50°C geringeren Trocknungstemperatur führen.

Zusammenfassung der Trocknungsempfehlungen

1. Der Kunststoff im Trichter sollte bereits vor Beginn der Mindesttrocknungszeit die für die Trocknung empfohlene Temperatur erreicht haben.
2. Es wird empfohlen, einen Trockner mit zwei oder mehr Adsorptionskartuschen einzusetzen, der einen Taupunkt von -40°C oder darunter erreichen kann.
3. Vectra LCP sollte entsprechend den Angaben der Tabelle 5.2.1 getrocknet werden. Um eine effektive Trocknung zu gewährleisten ist eine Restfeuchte des getrockneten Granulates von 0,01% (100 ppm) anzustreben.

Tab. 5.2.1 · Trocknungsbedingungen

Vectra® LCP	A-Serie V140	B-Serie	Ei- & S-Serie V143XL	V400P
Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	150	150	150 / 170	90
Zeit (Stunden)	4–24	6–24	6–24 / 4–16	8–24

4. Es sollte sichergestellt werden, dass die Temperaturanzeige für die Zuluft tatsächlich der Temperatur der Luft entspricht, die dem Trichter zugeführt wird.

Rezyklat sollte aufgrund seiner porösen und größeren Oberfläche 2 Stunden länger getrocknet werden als in den für Neuware empfohlenen Trocknungsbedingungen angegeben.

6. Spritzgießen

6.1 Maschinenseitige Voraussetzungen

Vectra kann wie andere Thermoplaste auf allen marktüblichen Spritzgießmaschinen verarbeitet werden.

6.1.1 Allgemeines

An den Flächen und Kanten der Spritzgießschnecke kann es, besonders durch Glas, zu Verschleiß kommen. Mit der Zeit kann das zu einer gewissen Verminderung des Achsendurchmessers an der Kompressions- und der Meteringzone führen. Die Schnecke sollte daher aus einer wärmebehandelten Stahllegierung mit großer Oberflächenhärte gefertigt sein.

Der Zylinder sollte mindestens mit drei separat regelbaren Heizzonen ausgerüstet sein, um eine exakte Temperaturkontrolle zu gewährleisten. Dies ist insbesondere für die Vectra Hochtemperatur-Typen von Bedeutung.

Trotz der thermischen Stabilität der Schmelze ist eine möglichst kurze Verweilzeit der Schmelze im Zylinder anzustreben (zwischen 3 und 5 min), d. h. die Kapazität der Maschine sollte dem Schussgewicht des Spritzlings angepasst sein.

Da Vectra mit kurzen Zykluszeiten verarbeitet wird, sollte die Maschine eine hohe Plastifizierkapazität haben.

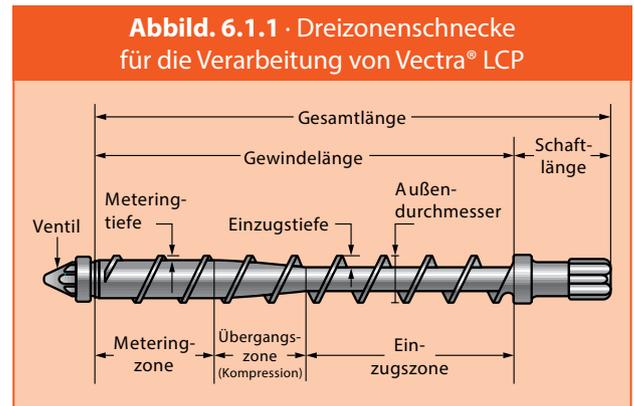
6.1.2 Schneckenauslegung

Die Konstruktion der Schnecke ist für die Verarbeitung von Vectra zwar nicht entscheidend, doch sind einige allgemeine Regeln zu beachten (vgl. Abbildung 6.1.1). Günstig ist eine Dreizonenschnecke mit gleichmäßiger Dreiteilung in Einzugs-, Kompressions- und Meteringzone. Bei kleineren Maschinen kann ein höherer Anteil von Einzugszonen notwendig sein.

Zonenaufteilung:

- ½ Einzug
- ¼ Kompression
- ¼ Metering

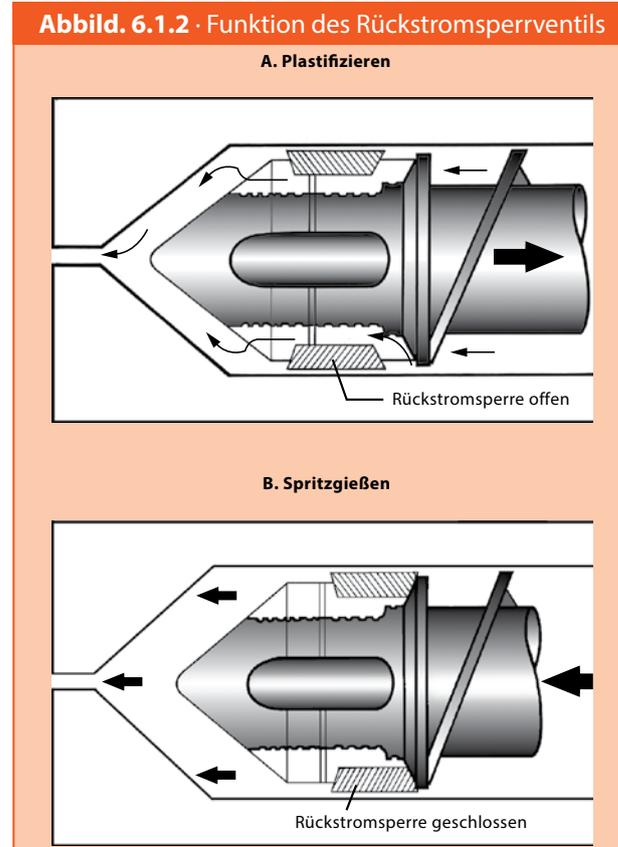
Längen/Durchmesser-Verhältnis der Schnecke, L/D zwischen 16:1 und 24:1. Ein L/D-Verhältnis 20:1 ist hier die gängige Praxis und somit bevorzugt.



Günstige Kompressionsverhältnisse liegen in einem Bereich von 3:1 bei größeren Maschinen bis zu nur 2:1 bei kleineren Maschinen. (vgl. Abbild. 6.1.1)

6.1.3 Rückstromsperre

Wegen der niedrigen Viskosität von Vectra ist eine Ausrüstung der Schnecke mit einer ordnungsgemäß funktionierenden Rückstromsperre unbedingt erforderlich (vgl. Abbildung 6.1.2). Die Funktion des Sperrings ist gewährleistet, wenn ein konstantes



Massepolster gehalten wird. Eine defekte Rückstromsperre führt zu Unregelmäßigkeiten in den Formteilen, zu unvollständiger Formfüllung und schlecht geformten Fließnähten.

6.1.4 Düse

Vectra kann sowohl mit offener, als auch mit Verschlussdüse verarbeitet werden. Bei offenen Düsen sind solche mit kleinem Bohrungsdurchmesser (1,5 bis 2,5 mm) günstig, um das Auslaufen von Schmelze zu unterbinden. Die Düsen sollten so kurz wie möglich sein und ein Heizband mit eigener Temperaturregelung besitzen. Sollte Schmelze auslaufen oder beginnen, Fäden zu ziehen, so kann das Problem gewöhnlich durch eine Absenkung der Düsens Temperatur oder Reduzierung des Düsenquerschnitts beseitigt werden.

6.1.5 Heißkanalsysteme

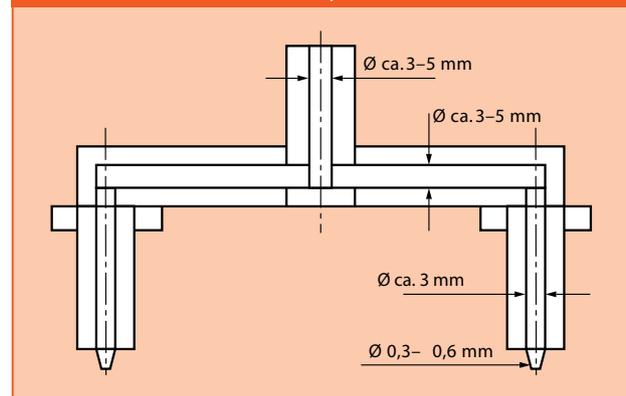
Vectra eignet sich für die Verarbeitung mittels Heißkanalsystemen. Dadurch lassen sich Einsparungen an Material und Arbeitsaufwand erzielen. Außenheizsysteme sowie Kombisysteme aus Innen- und Außenheizsystemen sind dabei solchen mit Innenheizung (Torpedo) vorzuziehen. Außenbeheizte Systeme garantieren einen gleichmäßigen Materialfluss und eine über den Querschnitt des Kanals gleichbleibende Masstemperatur. Die Wärmeenergie breitet sich von außen nach innen gleichmäßig aus, wodurch eine optimale thermische Homogenität erzielt wird. Die Auswahl eines geeigneten Werkzeugstahls ist bei der Herstellung von Heißkanalsystemen für die Verarbeitung von Vectra wichtig (HRC > 56).

Der Hersteller des Heißkanalsystems sollte auch die im Kunststoff auftretenden Scherkräfte und die damit einhergehenden Viskositätsveränderungen berücksichtigen. Aufgrund des Schussgewichtes ist der Schmelze Kanaldurchmesser in Heißkanalsystemen ähnlich zu bewerten wie bei Kaltkanalsystemen. Kleine Schussgewichte erfordern in Heißkanaldüsen Kanaldurchmesser von ca. 3 mm. In Verteilerbalken sind Kanaldurchmesser von 3 -5 mm üblich. Hingegen bei großen Schussgewichten (über 100 g) sind Kanaldurchmesser für Düsen und Verteilerbalken den üblichen Abmessungen der Thermoplaste empfehlenswert. Die Heißkanalanschnitte bei kleinen Bauteilen sollten zwischen 0,3 bis 0,6 mm liegen (vgl. Abbildung 6.1.3), bei großen Formteilen bei ca. 0,8 bis 2 mm. Aufgrund der erforder-

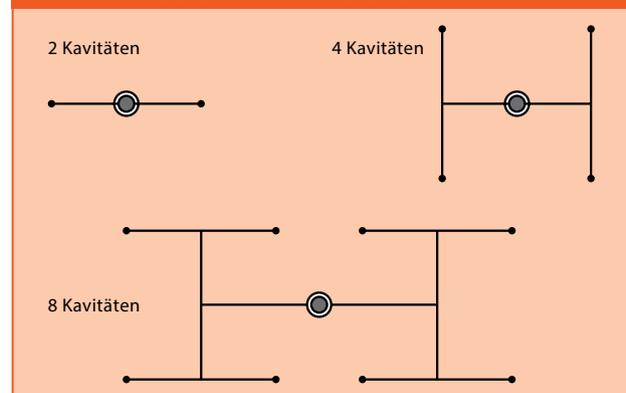
lichen Materialscherung ist die Verwendung von Düsen mit Spitzen bzw. Torpedos üblich, jedoch können auch Nadelverschußdüsen eingesetzt werden.

Es sollte dafür gesorgt werden, dass die Masse während der Verarbeitung nicht zu lange im Heißkanal verweilt. Wenn möglich sollte die Gesamtverweilzeit der Masse auf weniger als 5 Minuten begrenzt werden, um die thermische Belastung des Materials gering zu halten. Beim Spritzen ist es wichtig, dass vom Beginn der Füllung an ein gleichmäßiger Fluss entsteht (Quellstrom). Dies wird durch eine günstige Platzierung des Anspritzpunktes erreicht, und zwar so, dass die Schmelze direkt gegen einen Kern oder eine Wand prallt. Die Bildung eines Freistrahls muss vermieden werden. Die Verbindung zum Formteil kann entweder direkt vom Heißkanal aus geschehen oder mittels eines kalten Unterverteilers. Die Empfehlungen für die Verteilergeometrie beziehen sich auf die Unterverteiler (vgl. Abbildung 6.1.4). Beim Gestalten der Kavitäten ist auf die Gewährleistung eines konstanten Fließwiderstands zu achten. Die niedrige Viskosität kann sonst dazu führen,

Abbild. 6.1.3 · Heißkanalsystem für kleine Bauteile



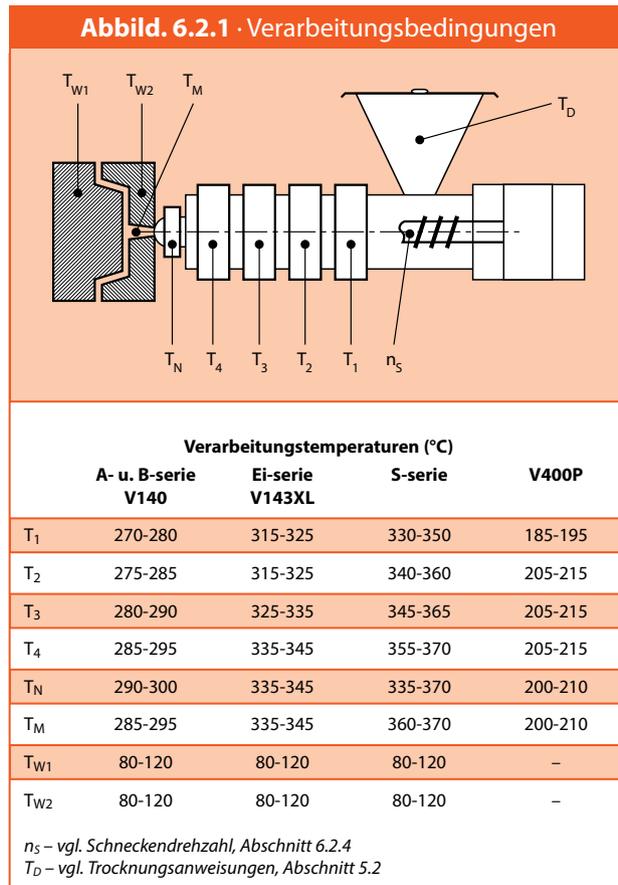
Abbild. 6.1.4 · Heißkanalverteiler



dass Schmelze in Bereiche mit niedrigem Fließwiderstand vorfließt, wodurch Verzugserscheinungen auftreten können.

Ein gut ausgelegter Kaltverteiler ist bestens geeignet maximale Scherung auf das Polymer zu übertragen und kann daher einem Heißkanalsystem überlegen sein.

Formteile, die mittels Heißkanalsystemen aus Vectra gefertigt werden, sind typischerweise kleine, dünnwandige Teile für die Elektro- und Elektronikindustrie, wo eine gute Wärmebeständigkeit während des Lötvorgangs erforderlich ist. Um die Wärmebeständigkeit der Formteile zu maximieren sollte das Verarbeitungstemperaturprofil innerhalb der empfohlenen Grenzen so niedrig wie möglich gehalten werden. Die Verweilzeiten sollten ebenfalls minimiert werden.



6.2 Verarbeitungsbedingungen

Vectra zeichnet sich durch seine leichte Verarbeitbarkeit aus. Die gebräuchlichen Verarbeitungstemperaturen sind in Abbildung 6.2.1 zusammengestellt. Hinweise für Anfahr- und Abstellprozesse, sowie für das Wechseln zwischen verschiedenen Werkstoffen finden sich in Abschnitt 5.1.1.

6.2.1 Massetemperatur

Die Massetemperatur kann, nachdem die Maschine einige Minuten im Zyklus gearbeitet hat, manuell durch Einstichmessgeräte ermittelt werden. Bei Abweichungen vom Sollwert müssen die Einstellungen der Zylinder- und Düsenheizelemente entsprechend korrigiert werden. Eine Kontrolle der Massetemperatur sollte grundsätzlich vorgenommen werden. Die in Spritzgießmaschinen integrierten Thermoelemente zeigen nicht immer die tatsächlichen Werte an.

Wenn die Formteile, z. B. während eines späteren Lötvorgangs, erhöhten Temperaturen von über 220°C ausgesetzt werden sollen, so ist es von besonderer Bedeutung, dass Vectra gut vorgetrocknet und während der Verarbeitung nicht überhitzt wird. Die Massetemperaturen sollten dann möglichst im unteren Bereich der in Abbildung 6.2.1 angegebenen Spanne liegen und die Verweilzeit der Masse im Zylinder 3 bis 5 min. betragen.

6.2.2 Einspritzgeschwindigkeit

Um die Qualität und Stärke der Fließnähte zu erhöhen, sollten bei kleinen Formteilen hohe Einspritzgeschwindigkeiten gewählt werden (0,2 bis 0,3 s Einspritzzeit). Mit zunehmender Scherung nimmt die Viskosität von Vectra® LCP schnell ab. Für Teile, die schwer zu füllen sind, kann die Einspritzgeschwindigkeit erhöht werden, um die Fließfähigkeit zu verbessern. Eine Erhöhung der Einspritzgeschwindigkeit kann wirkungsvoller als die Erhöhung der Massetemperatur sein und schont gleichzeitig die Qualität des Kunststoffes.

6.2.3 Werkzeugtemperaturen

Vectra lässt sich über eine große Bandbreite von Werkzeugtemperaturen hinweg verarbeiten, wobei Temperaturen zwischen 65 °C und 120 °C die Regel sind. Bei höheren Werkzeugwandtemperaturen lassen sich normalerweise glattere Oberflächen und bessere Fließigenschaften erzielen.

6.2.4 Schneckendrehzahl

Die Schneckendrehzahl n_s sollte hoch genug sein, um eine vollständige Plastifizierung der Masse vor dem Einspritzen zu erreichen. Typisch sind 100 bis 200 min^{-1} bei einem Schneckendurchmesser von 15 bis 25 mm.

6.2.5 Staudruck

Staudruck ist beim Plastifizieren normalerweise nicht nötig und sollte minimal eingestellt werden (5–15 bar spez.). Bei faserverstärkten Typen führt zu hoher Staudruck zu Faserbruch und Überhitzung des Materials.

6.2.6 Schneckendekompression

Schneckendekompression wird im allgemeinen nicht empfohlen. Wo eine Dekompression der Schnecke notwendig wird, um ein Nachtropfen zu verhindern, sollte sie auf ein Minimum beschränkt bleiben (2 bis 4 mm). Eine übermäßige Entspannung kann Luft und/oder Feuchtigkeit in die Düse ziehen und die Bildung eines kalten Pfropfen oder Blasen an der Formteiloberfläche hervorrufen.

6.2.7 Einspritzdruck

Der optimale Einspritzdruck hängt vom jeweiligen Vectra-Typ sowie von der Gestaltung des Formteils, des Werkzeugs und den Maschinenbedingungen ab. Alle Vectra-Typen zeigen eine niedrige Viskosität und erfordern im allgemeinen niedrigere Einspritzdrücke als andere thermoplastische Werkstoffe.

6.2.8 Nachdruck

Der Nachdruck kann ähnlich niedrig wie der Einspritzdruck gewählt werden, oder auch etwas niedriger. Die erforderlichen Nachdruckzeiten sind kürzer als bei teilkristallinen Thermoplasten, da Vectra sehr schnell einfriert. Die erforderliche Nachdruckzeit lässt sich durch Gewichtskonstanz ermitteln.

6.2.9 Zykluszeit

Alle Vectra-Typen zeigen neben der niedrigen Viskosität eine extrem geringe Schmelzwärme (etwa 5–10% der Schmelzwärme von PET und PBT). Das bedeutet, dass sehr wenig Wärme über die Werkzeugwände abgeführt werden muss. Die Entformung kann bereits bei hohen Temperaturen erfolgen, vorausgesetzt, die Auswerfer sind so ausgelegt, dass sie sich nicht in das Formteil eindrücken. Die äußerst geringe Eigenspannung ermöglicht zudem den Betrieb der Spritzgießwerkzeuge bei relativ niedrigen Temperaturen. Diese Eigenschaften erlauben ungewöhnlich kurze Zykluszeiten. Veränderungen der Wanddicken führen zu veränderten Kühlzeiten, ungefähr im Quadrat zur Wanddicke. Auch dies wirkt sich auf die Gesamtzykluszeit aus.

6.3 Mahlgut

Bei Vectra können ähnliche Verfahren zur Gewinnung von Mahlgut angewandt werden, wie bei anderen hochmodulen Thermoplasten. Flüssigkristalline Polymere bilden einen zähen, faserigen Werkstoff, mit dem sorgfältig umgegangen werden sollte, um eine hohe Regeneratqualität zu erzielen.

Mehrere Faktoren beeinflussen die Regeneratqualität. Dazu gehören Fragen wie der verarbeitete Vectra-Typ, die Art des Füllstoffs oder der Verstärkung, die Geometrie des Formteils und/oder des Angusses, die Art der Maschine und der Aufarbeitungsprozess.

Der Hersteller muss im Einzelfall die Obergrenze des Regeneratanteils ermitteln, indem er sowohl die Formteileigenschaften, wie auch die gesetzlichen Bestimmungen und die Verfahrensstabilität berücksichtigt.

6.3.1 Allgemeine Empfehlungen

1. Angüsse und Ausschussteile lassen sich am besten im noch warmen Zustand zerkleinern, also sofort nach der Entformung. Bei einer Granulierung in noch warmem Zustand werden saubere Granulatanten und ein Minimum an Abfall und Staub erreicht. Sollte dies nicht möglich sein, so ist eine Wiedererwärmung in einem Ofen bei ca. 150°C und ein anschließendes Mahlen möglich. Es ist darauf zu achten, dass die Teile der Schneidmühle langsam zugeführt werden. Dadurch wird die Verweilzeit im Schneidwerk mini-

miert, was die Schnittqualität verbessert (andernfalls werden die Teile eher zerdrückt).

2. Um Einzugs- und Dosierprobleme zu verhindern ist für das Regrenulat eine Partikelgröße in der Größenordnung der Neuware anzustreben. Dabei ist auf eine ebene Granulatform zu achten.
3. Ein scharfes Schneidewerk verbessert die Mahlgutqualität. Die Teile werden dann eher zerschnitten als zertrümmert.
4. Auch eine möglichst enge Einstellung des Messerabstands verbessert die Qualität. Dabei ist zu beachten, dass ein kleinstmöglicher Messerabstand, im Bereich der vom Schneidmühlenhersteller empfohlenen Werte, eingehalten wird.

Sollten die angegebenen Maßnahmen erfolglos bleiben, so kann eine Verringerung der Drehzahl notwendig sein. Maschinen mit einer Drehzahl von unter 30 U/min verbessern gewöhnlich die Regeneratqualität, indem sie größere Teile schneiden anstatt sie zu zerbrechen. Mühlen mit hohen Betriebsgeschwindigkeiten neigen hingegen dazu, die Teile zu zertrümmern anstatt sie zu schneiden – besonders bei niedrigen Temperaturen < 100°C. Dies führt dann zu grobkantigem, faserigem Vectra-Mahlgut und einer größeren Menge von anfallendem Feinmaterial bzw. Staub.

Die folgende Tabelle gibt den in einem Test ermittelten ungefähren Gewichtsanteil an Feinmaterial und die dabei erreichte Granulatqualität an. Natürlich werden die Ergebnisse durch die Maschinen und Prozessparameter beeinflusst. Als Feinmaterial sind Partikel definiert, die durch ein 10er Sieb hindurchfallen (10 Maschen pro inch²). Übermäßiger Feinmaterialanfall und eine minderwertige Granulatqualität können Probleme bei der Beschickung der Spritzgießmaschine mit sich bringen.

		Warmgranuliert	Kaltgranuliert
Niedrige Drehzahl	Feinmaterial, Gew.-% Granulatqualität	5 gut	13 mäßig
Hohe Drehzahl	Feinmaterial, Gew.-% Granulatqualität	5 mäßig	17 minderwertig

6.3.2 Ausrüstung

Eine Reihe von Herstellern berichtet über den erfolgreichen Einsatz eines S-Cutter der Usni Tech LLC für das Granulieren von Angüssen und Fehlteilen.

Kontaktadresse der Firma Usni Tech LLC:
818 Terminal Rd
Lansing, MI 48906, USA
Tel: ++1/517-332-7400
oder: www.usnitech.com.

In Europa sind die Maschinen zu beziehen über Scholz Apparate & Anlagenbau GmbH
In der Hernau 5
D-90518 Altdorf
Tel: ++49/(0)9187-4037

6.3.3 Mahlguteinsatz

Vier Faktoren können die Qualität des Regenerats beeinträchtigen: Verunreinigungen, thermischer Abbau, Hydrolyse (Reaktion mit Wasser) und Beschädigung des Verstärkungsmaterials, insbesondere bei Glasfasern. Vectra-Kunststoffe zeigen hervorragende thermische und hydrolytische Beständigkeitswerte, sofern sie unter Berücksichtigung der empfohlenen Parameter getrocknet und verarbeitet werden. Bei glasfaserverstärkten Typen kann es durch Bruch der Faser zu einer leicht reduzierten Izod-Kerbschlagzähigkeit kommen.

Um eine einheitliche Farbgebung und die Optimierung der mechanischen Eigenschaften zu erreichen, sollte der Zusatz von Regenerat auf 25% begrenzt bleiben. Die UL-Listung garantiert Messergebnisse ohne weitere Prüfung für einen Regeneratzusatz von bis zu 25%.

In bestimmten Fällen ist eine 50%ige Regeneratmischung möglich. Einige dieser Typen sind auch in der UL-Listung für den Einsatz mit 50% Regenerat eingetragen (für Vectra E150i sogar 75%).

In jedem einzelnen Fall der Regeneratverwendung sollte der Hersteller die fertigen Formteile testen, um ein zufriedenstellendes Ergebnis sicherzustellen. Die folgenden Methoden ermöglichen die besten Resultate beim Regeneratzusatz.

1. Sowohl das Regenerat wie auch der frische Werkstoff müssen sachgerecht getrocknet werden, am besten bis zu einer Restfeuchte von weniger als 0,01% (vgl. Abschnitt 5.2 zu Trocknungsempfehlungen).
2. Das Regenerat muss frei von Verunreinigungen und Fremdstoffen gehalten werden, einschließlich anderer Kunststoffe, Metalle und anderer flüssigkristalliner Polymere.
3. Überhöhte Massetemperaturen sind zu vermeiden.
4. Die Verweilzeit der Masse im Zylinder sollte niedrig gehalten werden, möglichst zwischen 3 und 5 min.
5. Auf Schneckendekompression verzichten.
6. Staub ist soweit als möglich zu vermeiden. Zudem sollte das Material nach Möglichkeit direkt nach dem Spritzgießen, im noch warmen Zustand, regranuliert werden.
7. Beachten von Abschnitt 6.2 bezüglich der empfohlenen Spritzgießbedingungen.

Bei Berücksichtigung der genannten Verarbeitungsbedingungen bleiben 80-100% der Festigkeits- und Modul-Eigenschaften von Vectra erhalten. Glasfaserverstärkte Typen können aufgrund von Faserbruch reduzierte Izod-Kerbschlagzähigkeitswerte aufweisen. Nach wiederholtem Spritzgießen ein- und desselben Materials wurde eine geringfügige Verfärbung beobachtet.

Bei jedem Gebrauch von Regenerat, insbesondere wenn ein höherer Anteil als 25% vorgesehen ist, sollten folgende Richtlinien beachtet werden:

1. Die Teilproduktion für Qualitätsprüfungen müssen unter gleichbleibenden Bedingungen gefahren werden. Es ist darauf zu achten, dass kontinuierlich über mehrere Stunden bei konstanter Materialzuführung mit der gewünschten Regeneratkonzentration produziert wird, um die Verweilzeitverteilung zu ermitteln.

2. Für die Qualitätsprüfung der regeneralthaltigen Formteile müssen die gleichen Prüfverfahren angewendet werden wie bei der Prüfung der aus Neuware hergestellten Teile.
3. Beachten der vorgegebenen Richtlinien wie UL, usw.

6.4 Fehlerkatalog

Viele Verarbeitungsprobleme werden durch leicht korrigierbare Bedingungen wie unsachgemäßes Trocknen, falsche Temperatur- oder Druckeinstellungen, usw., verursacht. In vielen Fällen wird ein Vorgehen im Sinne der hier gegebenen Fehlerbehebungsliste das Problem beseitigen.

Die Veränderung von Einstellungen und Verfahrensweisen sollte behutsam und schrittweise geschehen, um der Maschine genug Zeit zur Stabilisierung zu lassen, bevor weitere Änderungen vorgenommen werden. Dabei ist zu prüfen, ob die Maschine innerhalb der für den speziellen Vectra-Typ empfohlenen Grenzwerte arbeitet. Die Massetemperatur sollte z.B. in bestimmten Zeitabständen an freien Schüssen geprüft werden.

6.4.1 Sprödigkeit

- Material auf Verunreinigungen prüfen
- Verringern des Regeneratanteils im zugeführten Material
- Verminderung des Nachdrucks
- Vermindern der Massetemperatur durch
 - Verminderung der Schneckendrehzahl
 - Verminderung der Zylindertemperatur
- Den Werkstoff und das Regenerat vor der Verarbeitung trocknen.

6.4.2 Brenner

Vectra LCP Materialien sind hochorientiert und können rund um den Anspritzpunkt geringfügig dunkler erscheinen

- Material auf Verunreinigungen prüfen
- Verringern der Einspritzgeschwindigkeit
- Verbessern der Entlüftung, um Gaseinschlüsse zu minimieren
- evtl. ändern der Angusslage um die Entlüftung zu verbessern

6.4.3 Formteilunregelmäßigkeiten

- Prüfen, ob die Schnecke in der dafür vorgesehenen Zeit vollständig in die Ausgangsposition zurückkehrt
- Die Funktion der Rückstromsperre prüfen
- Dafür sorgen, dass ein Massepolster von 3 bis 5 mm eingehalten wird
- Das Werkzeug so schnell wie möglich füllen
- Erhöhen der Kühlzeit
- Die Hydraulik und die Elektrik der Maschine auf Fehlleistungen prüfen
- Die Anzahl der Kavitäten im Werkzeug vermindern
- Die Maße der Kanäle, Angüsse und Kavitäten in ein ausgewogenes Verhältnis bringen
- Verbessern der Entlüftung
- Einspritzdruck erhöhen

6.4.4 Verfärbungen

- Material auf Verunreinigungen prüfen
- Reinigen des Heizzylinders
- Senken der Masstemperatur durch:
 - Verminderung der Schneckendrehzahl
 - Verminderung der Zylindertemperatur
- Verweil- und Zykluszeit minimieren
- Entlüftung im Werkzeug verbessern
- Verweilzeit verkürzen evtl. auf eine kleinere Spritzgießmaschine wechseln

6.4.5 Gratbildung

Obwohl Vectra LCP über eine sehr gute Fließfähigkeit bei dünnen Wandstärken verfügt neigt das Material beim Einhalten der Entlüftungsempfehlungen (siehe Kapitel 9.2.7) nicht zur Gratbildung.

Der Grund dafür ist die niedrige Enthalpie des Vectra® LCP, die ein sofortiges Erstarren des Polymers an der Werkzeugwand bzw. an Entlüftungskanälen garantiert.

- Verringern des Einspritzdrucks
- Massepolster von 3 bis 5 mm einhalten
- Vermindern des Dosiervolumens
- Verringern der Einspritzgeschwindigkeit
- Senken der Masstemperatur durch:
 - Verminderung der Schneckendrehzahl
 - Verminderung der Zylindertemperatur
- Prüfen des Werkzeugs auf Fehler in der Trennebene
- Verbessern der Werkzeugentlüftung
- Prüfen des Werkzeugs auf Parallelität
- Einspannen des Werkzeugs auf eine Maschine mit größerer Schließkraft

6.4.6 Freistrahlbildung

Vectra-Polymere sind hochorientiert, zeigen kaum oder keine Neigung zu Quellfluss, und bilden beim Einströmen in größere Kavitäten oft einen Freistrah.

- Die Lage des Anschnittes so verändern, dass die Masse auf einen Kern, einen Stift oder eine Wand prallt.
- Einspritzgeschwindigkeit verringern – Anschnitt auf 85 bis 100% der Wanddicke vergrößern.

6.4.7 Rückstromsperre defekt

- Sicherstellen das die Rückstromsperre dicht schließt
- Sicherstellen, dass die Rückstromsperre ein konstantes Massepolster von 3 – 5 mm hält.

6.4.8 Düsenprobleme

A. Düse tropft

- Verringern der Düsentemperatur
- Masstemperatur vermindern durch:
 - Verminderung der Schneckendrehzahl
 - Verminderung der Zylinder- und/oder Düsentemp.
- Minimale Dekompression einsetzen (eine zu starke Dekompression kann Blasenbildung beim Wiedererwärmen der Formteile zur Folge haben)
- Den Werkstoff gründlich trocknen
- Düse mit kleinerer Bohrung benutzen
- Benutzen einer Maschinendüse mit konischem Schmelzkanal
- Verschlussdüse verwenden
- Werkzeugöffnungszeiten verkürzen

B. Düse friert ein

- Düsentemperatur erhöhen
- Verringern der Zykluszeit
- Erhöhen der Werkzeugtemperatur
- Einsetzen eines Angussunterbrechers (Rückschub), wenn nötig
- Düse mit größerer Bohrung und Beryllium-Spitze verwenden

6.4.9 Unvollständige Formfüllung

- Am Einzugstrichter prüfen, ob die Einzugsmenge stimmt
- Sicherstellen, dass die Rückstromsperre dicht schließt
- Erhöhung des Dosiervolumens
- Den Einspritzdruck vorsichtig erhöhen
- Erhöhen der Einspritzgeschwindigkeit
- Werkzeugtemperatur erhöhen
- Prüfen ob die Kavitätentlüftungen verstopft sind
- Zylindertemp.
- Verringern der Angussgröße (eventuell den Kanalquerschnitt) um die Scherung zu erhöhen
- Sicherstellen dass der Massepolster gleichbleibend ist

6.4.10 Einfallstellen

Vectra zeigt äußerst niedrige Schwindungswerte, und dementsprechend selten entstehen Einfallstellen. Zumeist deuten diese auf unvollständige Formfüllung hin.

- Sicherstellen das die Rückstromsperre dicht schließt
- Erhöhung des Dosiervolumens um ein 3 bis 5 mm
- Masse-Polster sicherzustellen
- Einspritzdruck erhöhen
- Werkzeugtemperatur erhöhen
- Schmelzetemperatur erhöhen
- Prüfen, ob die Kavitätentlüftungen verstopft sind
- Die Anspritzpunkte in Bereiche größerer Wanddicke platzieren
- Auskernen des Formteils
- Nachdruckzeit erhöhen
- Nachdruck erhöhen
- Anschnitt verkleinern um die Scherung und die Viskosität zu erhöhen
- Gleichbleibende Schneckensuchzugszeit sicherstellen
- Sicherstellen das kein überhöhtes Spaltmaß zwischen Schnecke und Zylinder vorhanden ist.

6.4.11 Entformungsprobleme

A. Entformungsprobleme in der Kavität

- Verringern des Einspritzdrucks
- Verringern der Einspritzgeschwindigkeit
- Nachdruck vermindern
- Beseitigen von Hinterschneidungen; Erhöhen der Konizität
- Prüfen des Formteils auf Auswerfermarkierungen
- Polieren des Werkzeugs in Entformungsrichtung
- Effektivität und Gleichmäßigkeit verbessern

B. Festsitzen am Kern

- Messen der Kerntemperatur, Vermindern der Temperatur oder Verbessern der Kühlung
- Hinterschneidungen beseitigen
- Polieren der Kerne in Entformungsrichtung
- Erhöhen der Konizität

C. Festsitzen an der Angussbuchse

- Prüfen, ob die Zentrierung vom Werkzeug zur Maschine sowie die Bohrungsdurchmesser stimmen
- Vermindern des Nachdrucks
- Verringern des Einspritzdrucks
- Beseitigen von Hinterschneidungen und Polieren der Oberflächen der Angussbuchse
- Einsetzen einer effektiveren Auszugskralle

6.4.12 Oberflächenmarkierungen und Schlieren

Vectra ist hochorientiert, sodass oft Fließlinien sichtbar werden.

- Vermindern der Masstemperatur durch:
 - Verminderung der Schneckendrehzahl
 - Verminderung der Zylindertemperatur
- Beseitigen von etwaigen Verunreinigungen
- Den Werkstoff vor der Verarbeitung trocknen
- Schneckendekompression vermindern
- Verringern der Masseverweilzeit durch
 - Verminderung der Gesamtzykluszeit
 - Werkzeugwechsel auf eine kleinere Maschine

6.4.13 Verzug, Verformung

Vectra-Kunststoffe sind hochorientiert und weisen in Fließrichtung eine wesentlich geringere Schwindung auf als quer dazu. Ein einheitlicher und gleichmäßiger Schmelzestrom ist erforderlich um die Schwindung so gut als möglich zu steuern. Die meisten Verzugserscheinungen kommen durch die Fließstrukturen zustande, die durch die Teil- und die Angusslage bestimmt werden. So ist die Verzugsgefahr bei Teilen mit großen Wandsprüngen wesentlich größer als bei

Teilen mit einheitlichen Wandstärken. Mit Ausnahme der Werkzeugtemperatur haben die Verarbeitungsbedingungen wenig Einfluss auf den Schwindungswert.

- Ändern der Angusslage oder der Wanddicken, um das Füllmuster zu verbessern
- Sicherstellen, dass die Entformung des Teils gleichmäßig erfolgt
- Prüfen, ob die Teile nach der Entformung sachgemäß behandelt und die Angüsse sofort entfernt werden
- Werkzeugtemperatur verringern
- Erhöhen der Nachkühlzeit
- Sicherstellen, dass die Schmelze verdichtet wird durch
 - Erhöhung des Einspritzdrucks bzw. der Einspritzgeschwindigkeit

6.4.14 Fließnähte, Bindenähte

- Formtrennmittel beseitigen
- Einspritzgeschwindigkeit erhöhen
- Erhöhen des Einspritzdrucks
- Erhöhen der Werkzeugtemperatur
- Erhöhen der Masstemperatur
- Kavität im Fließnahtbereich entlüften
- Einrichten einer Überlaufbohle angrenzend an den Fließnahtbereich
- Verwendung eines einzigen Angusses
- Verbessern der Fließstruktur durch
 - Änderung der Angusspositionen
 - Vereinheitlichung der Wanddicke
 - Umgestaltung der Wanddicken, um den Massefluss zu steuern.

7. Extrudieren

Einige unverstärkte Vectra® LCP-Typen sind für das Extrudieren geeignet. Dabei kommt das Extrudieren von Stäben, Profilen, Folien, Platten, Rohren und Fasern in Frage. Darüber hinaus erlaubt ein Typ von unverstärktem Vectra® die Coextrusion mit Standard Verpackungsmaterialien. Dies ermöglicht Verpackungsherstellern einen ökonomisch sinnvollen Einsatz von LCP's, um sich die exzellenten Gas-Barriere-Eigenschaften und chemische Resistenz zunutze zu machen. Aufgrund ihrer besonderen Molekularstruktur zeigen Extrudate aus LCP in der Regel ein ausgeprägt anisotropes Eigenschaftsbild. Dies kann nur durch eine geeignete Verarbeitungstechnik ausgeglichen werden. So kann etwa die Blasfolientechnik eingesetzt werden, um der Anisotropie von LCP Folien zu entgegenzuwirken. Für dieses Verfahren müssen normalerweise ungefüllte Vectra-Typen verwendet werden. Bei Blasfolien bis etwa 100 µm Stärke können durch Veränderung des Zugverhältnisses in Fließrichtung und des Aufblasverhältnisses in Querrichtung ähnliche physikalische Eigenschaften in Längs- und Querrichtung eingestellt werden. Das Zug-E-Modul kann dabei zwischen 20.000 MPa/3.500 MPa (in Fließrichtung/quer zur Fließrichtung) bei einer anisotropen Spritzgussfolie und 7.000 MPa/7.000 MPa bei einer extrusionsblasgeformten Folie liegen. Dies kann z.B. für die Elektronikindustrie von Bedeutung sein, wo präzise Gestalteigenschaften einschließlich geringer Schwindung und eines kontrollierbaren Wärmeausdehnungskoeffizienten erforderlich sind.

Auch mineral- und faserverstärkte Vectra-Typen sind für das Extrudieren geeignet, solange der Querschnitt groß genug ist, um den Füllstoff zu fassen. Gefüllte Kunststoffe sind für Thermoform-Folien empfehlenswert sowie für Extrusionsprodukte, die für eine maschinelle Weiterverarbeitung vorgesehen sind. Füllstoffe eignen sich auch dazu, die thermischen und Verschleißigenschaften zu verbessern.

Beachten Sie in jedem Fall die in Abschnitt 5.2 beschriebenen Trocknungsverfahren, bevor Sie mit Vectra arbeiten.

7.1 Maschinenseitige Voraussetzungen

7.1.1 Allgemeines

Vectra sollte mit relativ kühler Materialeinzugszone extrudiert werden. Um ein vollständiges und gleichmäßiges Schmelzen des Kunststoffes zu erreichen, wird empfohlen, einen Zylinder mit einem Längen/Durchmesser-Verhältnis von 24:1 bis 30:1 einzusetzen. Ein Extrudierzylinder mit Vakuum-Entlüftung ist nützlich, um flüchtige Stoffe im Extrudat zu beseitigen.

7.1.2 Schneckenauslegung

Die Viskosität von Vectra ist in hohem Maße von der Scherbeanspruchung abhängig. Daher empfiehlt sich eine Schnecke mit hoher Gangtiefe in der Einzugszone und einheitlicher Schneckensteigung. Das beste Kompressionsverhältnis liegt zwischen 2:1 und 5:1 für eine Einzonenschnecke oder für die erste Stufe bei einer Zweizonenschnecke. Für die zweite Stufe einer Schnecke mit Entlüftung sollte das Kompressionsverhältnis zwischen 2:1 und 3:1 liegen. Die Länge des Einzugs- und des Metering-Abschnitts sollte in jedem Fall jeweils mindestens fünf Schneckendurchmesser betragen, mit einem allmählichen Übergang.

7.1.3 Schmelzefilter

Da Vectra oft bei Temperaturen nahe dem Schmelzpunkt verarbeitet wird, sind funktionsfähige Heizelemente und eine gute Isolierung wesentliche Faktoren zur Verhinderung des Einfrierens von Polymer. Ein feinmaschiges Sieb (bis zu 100 Maschen pro inch²) kann zum Filtern des Extrudats verwendet werden, ohne dass Überdruck entsteht. Beim Extrudieren von gefülltem LCP sollte keine Siebfilterung angewandt werden.

7.1.4 Kopf und Düse

Standarddüsen sind im Allgemeinen für das Extrudieren von Vectra geeignet, doch sollte insbesondere beim Coextrudieren die geringe Viskosität von Vectra durch enge Fließkanäle berücksichtigt werden. Die Temperaturverteilung muss für den gesamten Kopf- und Düsenbereich einheitlich geregelt sein. Der Massedruck sollte so einheitlich wie möglich eingestellt und gehalten werden. Die Siebpackung sollte ersetzt werden, sobald eine deutliche Druckzunahme einsetzt.

7.1.5 Massepumpen

Da Vectra ein Werkstoff ist, der bei zunehmender Scherbeanspruchung stark in der Viskosität abnimmt, neigt es stärker als herkömmliche Polymere dazu, über den Schneckensteg zurückzufließen. Dies kann bei hohem Extrusionsdruck eine verminderte Schneckenpumpeneffizienz zur Folge haben. Daher ist eine Massepumpe empfehlenswert, wenn unter hohem Druck extrudiert oder Filter (Magazin- oder Siebwechsler) eingesetzt werden sollen. Die Massepumpe sollte direkt hinter dem Extruder (in Fließrichtung) installiert werden.

7.2 Verarbeitung

Die beim Extrudieren zu beachtenden Regeln für Sicherheit, Anfahr- und Abstellprozesse sind den in Abschnitt 5.2 für das Spritzgießen angegebenen vergleichbar. Trocknung und Lagerung des Werkstoffs sind in Abschnitt 5.2 beschrieben.

7.2.1 Folien und Platten

Extrudieren von Folien und Platten ist sowohl mit ungefüllten wie mit gefüllten Vectra Polymeren möglich. Thermoformverfahren erfordern im allgemeinen einen glas- oder mineralgefüllten Typ, der für stärkere Platten geeignet ist.

Folien und Platten werden oft nahe dem Schmelzpunkt verarbeitet, weshalb besonders darauf zu achten ist, dass es bei dem Schmelzfilter und in der Düse nicht zum Einfrieren des Polymeren kommt, besonders während des Anfahrens. Eine Wärmeisolierung dieser Komponenten kann hilfreich sein. Die Temperatur kann beim Extrudieren von stärkeren Platten (über 0,25 mm Dicke) vorsichtig unter den empfohlenen Wert abgesenkt werden, wenn es die Erhaltung der Massefestigkeit erfordert.

Die Entfernung der Düse zum Fertigwalzspalt sollte im Allgemeinen so klein wie möglich gehalten werden, um ein vorzeitiges Erstarren des geschmolzenen Extrudats zu vermeiden. Das Verjüngungsverhältnis (Verhältnis zwischen Spaltbreite und Foliendicke) sollte für dünnere Folien (Stärke < 0,25 mm) bei etwa 2,0 liegen, bei dickeren Folien und Platten bei 1,1 bis 1,2.

Für das Folien- und Plattenextrudieren können Standarddüsen mit Mittelpunktspeisung verwendet werden. Ein großer Verteiler ist empfehlenswert, um die Schmelze über die Düse gleichmäßig zu verteilen. Die Düsen-spaltgröße sollte verstellbar sein, um den Düsendruck regulieren und das gewünschte Verjüngungsverhältnis erreichen zu können.

Folien bis 0,25 mm Dicke können auf einer einzigen Walze abgeformt oder von einem dreifachem Walzwerk extrudiert werden. Dickere Platten bedürfen z.T. einer linearen Anordnung. Die Fertigwalzen sollten möglichst beheizt sein, um eine kontrollierbare, gleichmäßige Kühlgeschwindigkeit und eine hohe Oberflächenqualität zu gewährleisten. Da Vectra-Folien weniger als andere Kunststoffe an den Rändern zum Walzsicken neigen, kann die für eine bestimmte Foliengröße nötige Fertigwalzenbreite größer ausfallen, als frühere Erfahrungen vielleicht erwarten lassen. Folien unter 0,25 mm Dicke können auf eine Trommel aufgewickelt werden, während stärkere Folien meist in Längen geschnitten werden müssen.

7.2.2 Profile

Endlosstränge, Stäbe und andere Profile können aus ungefülltem Vectra extrudiert werden, vorzugsweise aus Vectra A950. Die hohe Molekularorientierung, die bei der Extrusion entsteht, verleiht diesen Produkten eine außergewöhnliche Zugfestigkeit und Steifheit in Fließrichtung. Aufgrund der hohen Massefestigkeit können beide Materialien horizontal wie vertikal extrudiert werden. Eine Massetemperatur von ca. 280 °C bis 285 °C wird für Vectra A950 vorgeschlagen. Halten Sie den Druck bei über 0,7 MPa, um eine gleichmäßige Packdichte des Produkts zu erhalten.

Anders als viele andere technische Thermoplaste, zeigen Vectra-Produkte eine sehr geringe Neigung zum Quellfließen oder Verformen beim Austritt aus der Düse. Bei der richtigen Düsenauslegung ist nur ein äußerst geringes Verjüngungsverhältnis nötig, um eine gute mechanische Festigkeit zu erreichen. Ein Abzugsverhältnis von 4 zu 7 (Verhältnis zwischen Düsenbohrungsfläche und Querschnittfläche des Extrudats) wird empfohlen, um beste Ergebnisse zu erzielen.

Der Düseneintritt sollte stromlinienförmig gestaltet und frei von Staupunkten sein, damit der Polymerstrom nicht aufgehoben und qualitativ beeinträchtigt wird. Für das Extrudieren mit runden Querschnitten wird der Gebrauch von Düsen mit konischem Eintritt und einem konischen Eintrittswinkel von 30 bis 70° empfohlen. Eine Düse ohne Mundstück ist vorzuziehen, aber ein kurzes Mundstück ist möglich. Die Mundstücklänge sollte nicht mehr als das 4-fache des Bohrungsdurchmessers betragen. Eine größere Länge führt zu übermäßiger Scherverformung und Verminderung der Zugeigenschaften. Ein konischer Dorn wird im allgemeinen eingesetzt, dessen Spitze vor dem Düseneintritt zentriert ist.

Kühlungsverhalten und Größe des extrudierten Profils hängen von der Querschnittsfläche ab. Dünne Stränge bis 0,15 mm Durchmesser sind für die Luftkühlung geeignet. Bei Durchmessern von über 3 mm sollte eine Kalibrierung folgen.

Größere Durchmesser und Formen sollten generell wassergekühlt werden. Wasserbäder für Profile mit kleinerem Durchmesser (z.B. Stab mit 2 mm Durchmesser bei 30 m/min Vorschubgeschwindigkeit) sollten temperiert und bei 45 °C gehalten werden. Eine kurze Badlänge (ca. 1 m Länge) ist im Allgemeinen ausreichend. Der Abstand zwischen Düsenaustritt und Wasserbad liegt normalerweise zwischen einem und drei Metern und kann angepasst werden, um eine möglichst vollkommene Rundheit des Querschnitts des extrudierten Endlosstrangs zu erzielen.

Aufgrund der Steifheit des Extrudats sollte die Fertigungsbahn keine scharfen Krümmungen aufweisen. Die Durchmesser der Walzen und Aufwickeltrommeln sollten nicht unter dem 200-fachen des Strangdurchmessers liegen.

7.2.3 Rohre und Schläuche

Ein breites Spektrum von Rohr- und Schlauchdurchmessern und -dicken lassen sich mit Vectra extrudieren. Eine zwischen Extruder und Düse installierte Massepumpe ergibt ein glatteres, gleichmäßigeres Extrudat und minimiert Schwallfluss. Die Masstemperatur sollte so niedrig wie möglich gehalten werden, um eine gute Massefestigkeit zu erhalten und die Kapazität zu erhöhen.

Röhren mit kleinem Durchmesser (bis ca. 2 mm) können direkt in eine Kühlwanne extrudiert werden, während bei größeren Durchmessern eine Kalibrierung erforderlich ist. In Fällen, bei denen eine genaue Einhaltung des Durchmessers und der Rundung entscheidend ist, wird vorzugsweise ein Vakuum-Wasser-Kalibrierbad eingesetzt. Bei der Arbeit mit einem Dornhalterwerkzeug sollten die Stege so weit wie möglich vom Düsenaustritt entfernt sein, um dem geschmolzenen Extrudat Zeit zu geben, sich wieder zusammenzufügen und eine homogene Masse zu bilden. Der Dorn sollte sorgfältig zentriert sein, um eine einheitliche Wanddicke zu erhalten. Eine Düsenlänge des zwei- oder mehrfachen des Röhrendurchmessers ist dabei ideal. Um den Außendurchmesser gleichmäßig und die Rohr- oder Schlauchoberfläche glatt zu erhalten, können Kalibrierringe verwendet werden.

Die Kalibrierringe sollten einen um etwa 0,25 mm größeren Durchmesser als das Produkt haben. Ein vorstehender Dorn ist nötig, um den Innendurchmesser maßgenau zu gestalten.

Ein Verjüngungsverhältnis (Düsenkreisring geteilt durch Querschnittsfläche der extrudierten Röhre) zwischen 1,2 und 2,0 ist beim Rohrextrudieren empfehlenswert.

7.2.4 Kabelummantelung

Vectra A950 ist sowohl für Ummantelung von Kabeln als auch für Lichtwellenleiter geeignet, da es die Glasfaser schützt und zusätzlich festigt. Ummantelte Leitungen zeigen sehr geringe thermische Leitfähigkeit, Feuchtigkeits- und Gasdurchlässigkeit, Wasseraufnahme und Wärmedehnung.

Verwenden Sie eine Querkopfdüse mit Konvergenztülle zum Extrudieren. Ein Konvergenzverhältnis (Verhältnis der Fließquerschnitte vor und nach dem Zusammenlaufen) zwischen 10 und 20 ist nötig, um die für gute mechanische Eigenschaften erforderliche Molekularorientierung zu erreichen. Die Mundstücklänge sollte etwa 6 mm oder weniger betragen, um eine unnötige Wärmeübertragung auf die Glasfasermantelung zu vermeiden.

Die Kühlwasserwanne sollte bei Temperaturen zwischen 25 °C und 45 °C gehalten werden, um ein zu schnelles Abkühlen der ummantelten Faser zu verhindern. Zwischen Düsenaustritt und Eintritt ins Kühlwasser sollte ein Abstand von 15 bis 20 cm eingehalten werden. Rollen sollten so positioniert sein, dass die umhüllte Faser nirgends eine Krümmung von einem Radius von unter 100 Durchmessern der umhüllten Faser erfährt.

Die Orientierung der ummantelten Faser kann durch eine Verjüngung nach dem Austritt aus der Düse weiter erhöht werden, wodurch die Festigkeit verbessert wird. Das empfohlene Verjüngungsverhältnis entspricht der folgenden Formel:

$$\text{Verjüngungsverhältnis} = (A^2 - B^2) / (C^2 - D^2)$$

A = Außendurchmesser des Düsenkreisrings
 B = Innendurchmesser des Düsenkreisrings
 C = Durchmesser des ummantelten Produkts
 D = Durchmesser des Drahtes oder der Faser

7.3 Fehlerkatalog

Ähnlich wie für das Spritzgießen (Abschnitt 6.4) beschrieben, resultieren viele Verarbeitungsfehler aus leicht zu korrigierenden Einstellungen wie unsachgemäßer Trocknung, falschen Temperaturen, usw. Führen Sie bitte im Falle des Auftretens eines Mangels die unter der entsprechenden Rubrik empfohlenen Schritte in der angegebenen Reihenfolge durch.

7.3.1 Extrudieren Allgemein

Extrudatquerschnitt verändert sich mit der Zeit

- Prüfen, ob die Vorschubgeschwindigkeit gleichmäßig ist
- Prüfen, ob der Extruder ein ungleichmäßiges pulsieren der Schmelze erzeugt; verringern der Temperatur der Einzugszone, um eine gleichmäßige Fließgeschwindigkeit zu erreichen
- Zu starke Verjüngung; Düsenabmessungen verändern
- Installieren einer Schmelzepumpe, um die Fließgeschwindigkeit zu stabilisieren

Extrudat enthält unerwünschte Lufteinschlüsse

- Wenn die Ursache des Problems in der Bildung von Gasen zu liegen scheint, Masstemperatur reduzieren oder Extruder mit Vakuum-Entlüftung einsetzen
- Wenn der Massedruck weniger als 0,7 MPa beträgt, Schneckendrehzahl erhöhen, Größe anpassen, oder feineren Filter bei der Siebpackung anwenden (bei ungefüllten Kunststoffen), um Massedruck zu erhöhen.

Unbefriedigende Oberflächenoptik

- Kunststoff gründlicher trocknen
- Wenn die Ursache des Problems in der Bildung von Gasen zu liegen scheint, Masstemperatur reduzieren oder Extruder mit Vakuum-Entlüftung einsetzen
- Bei Streifenbildung Masstemperatur in Stufen von 2 bis 3°C anheben

Streifen parallel zur Maschinenrichtung

- Düse auf Einkerbungen prüfen
- Alle relevanten Oberflächen auf Verunreinigungen und abgebauten Kunststoff prüfen

7.3.2 Rohre und Schläuche

Verzug an Rohren und Schläuchen

- Ungleichmäßiges Abkühlen; sicherstellen, dass das Extrudat vollständig in das Kühlwasser getaucht wird
- Das Produkt auf Wanddickenunterschiede prüfen
- Prüfen der Zentrierung von Extrudierdüse und Kalibrierring

Minderwertige Oberfläche nur innen

- Den Dorn auf abgebautes Material prüfen
- Dornlänge verändern
- Unregelmäßige Wanddicke
- Dorn zentrieren

7.3.3 Profile

Extrudat zeigt Querschnittsverformung

- Massetemperatur entweder höher oder niedriger einstellen
- Abstand zwischen Düse und Wasserbad korrigieren
- Verjüngungsverhältnis korrigieren
- Kalibrierung könnte notwendig sein

Strangbrüche im Extrudat

- Trocknungsbedingungen überprüfen
- Schrittweises Erhöhen der Massetemperatur
- Verjüngungsverhältnis reduzieren, sofern periodische Veränderungen des Querschnitts auftreten

7.3.4. Folien und Platten

Folie zeigt große Löcher in regelmäßigen Abständen

- Massetemperatur absenken
- Kleinere Düsenbohrung verwenden, um das Verjüngungsverhältnis zu reduzieren
- Düsenspannung vermindern

Durchhängendes Extrudat

Absenken der Massetemperatur

Ungleiche oder verformte Ränder

- Polymer gefriert an den Düsenrändern; Düse reinigen und Massetemperatur anheben

7.3.5 Ummantelung

Brüche der optischen Faser

- Sicherstellen, dass das Polymer und die optische Faser gründlich getrocknet werden
- Beseitigen von etwaigen Verunreinigungen in der Faserführung
- Spannung am Abroller und am Düseneintritt regulieren

Unrunder Querschnitt

- Massetemperatur vermindern
- Düsenaustrittsstelle zentrieren
- Abstand zwischen Düse und Wasserbad verändern
- Wasserbadtemperatur verändern

8. Design

Konstrukteure und Werkzeugbauer spezifizieren Vectra® LCP wegen der hervorragenden Dimensionsstabilität, mechanischen Eigenschaften, sehr guten Fließfähigkeit bei geringer Wanddicke und des breiten Verarbeitungsfensters. Die Gestaltung des Formteils ist der Schlüssel zur Optimierung, sowohl der Breite der Verarbeitungsmöglichkeiten, wie der Leistungsfähigkeit der Formteile. Die allgemeinen Regeln und Empfehlungen guter Kunststoffteilgestaltung gelten im Großen und Ganzen auch bei der Auslegung von Vectra-Bauteilen. So sollte die Formteilgestaltung wie auch die Werkzeugauslegung so beschaffen sein, dass ein ungehinderter, gleichmäßiger Polymerfluss gewährleistet ist. Daneben muss beim Design die Steuerung der Eigenschaftsanisotropie bedacht werden – ein Umstand, der viele Möglichkeiten und Herausforderungen mit sich bringt. Denn die Fließrichtung der Masse im Werkzeug beeinflusst die mechanischen Eigenschaften der Formteile mehr als bei anderen Thermoplasten. Es besteht also ein enger Zusammenhang zwischen Teilgestaltung, Leistungsmerkmalen und Anforderungen des Endkunden.

8.1 Formteilgestaltung

8.1.1 Wanddicke

Von allen für die Kunststoffgestaltung ausschlaggebenden Faktoren ist die Wahl der richtigen Nennwanddicke wahrscheinlich der wichtigste. Die Wahl des passenden Wandquerschnitts entscheidet manchmal über das Gelingen oder Nichtgelingen des Endprodukts. Ein zu geringer Wandquerschnitt kann zu Leistungsmängeln oder Strukturproblemen führen, während eine zu große Wanddicke, auch in nur einigen Bereichen, das Produkt unattraktiv, zu schwer oder zu teuer machen kann. Manche Mängel können zwar durch eine Nachbearbeitung behoben werden, aber solche Lösungen sind in der Regel unwirtschaftlich.

Die meisten spritzgegossenen Kunststoffteile besitzen Wandstärken zwischen 1 und 5 mm. Aufgrund der geringen Viskosität und hohen Fließfähigkeit bewegen sich die üblichen Wanddicken für Vectra-Teile zwischen 0,3 und 1,0 mm. Die Dicke ist in diesem Bereich generell abhängig von der Größe des Formteils. Das bedeutet jedoch nicht, dass sich nicht auch Formteile mit größeren oder kleineren Wandquerschnitten spritzen ließen, oder dass ein großes Teil nicht dünnwandig und ein kleines nicht dickwandig sein könnte. Die hier angegebenen Normwerte können aber als Ausgangspunkt bei der Teilgestaltung dienen.

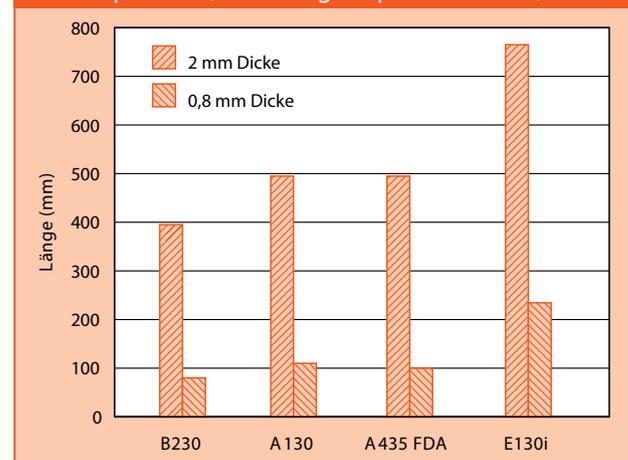
Wenn ein Formteil mit größeren Gewichten belastet werden soll, sollten die lasttragenden Bereiche einer Spannungs- und Verformungsanalyse unterzogen werden. Die folgenden Alternativen können erwogen werden, wenn die dabei auftretenden Spannungen oder Verformungen zu hoch sein sollten:

- Einsatz von Rippen oder andere „geeignete“ Konturen, die das Flächenträgheitsmoment erhöhen
- Verwendung einer Vectra-Type mit höherer Festigkeit
- Erhöhen der Wanddicke, wenn die Grenze nicht schon erreicht ist.

Kunststoffteile sind gute Isolatoren sowohl elektrisch als auch thermisch. Sie können auch als Schall-, Schwingungs- oder Lichtfilter dienen. Im allgemeinen ist die Filterleistung direkt von der Kunststoffdicke abhängig. Im Falle von Schallübertragung kann es nötig sein, die Wanddicke eines Kunststoffgehäuses zu ändern, um die Resonanzfrequenz zu vermeiden.

Die Schlagfestigkeit eines Formteils steht in einem direkten Verhältnis zu seiner Fähigkeit, mechanische Energie ohne Verformung oder Bruch aufzunehmen. Sie ist abhängig von den Stoffeigenschaften und der Teilgeometrie. Die Erhöhung der Wanddicke verbessert im allgemeinen die Schlagfestigkeit eines Formteils. Hohe Wanddicken können jedoch auch die Schlagfestigkeit beeinträchtigen, indem sie dem Teil eine zu große Steifheit verleihen und es dadurch

Abbild. 8.1.1 · Fließweglängen
(Einspritzdruck: 195 bar hydraulisch/ca. 1.000 bar spezifisch, Werkzeugtemperatur: 100°C)



unfähig machen, Schlagenergie abzufangen und zu verteilen. Beide Arten der Schlagenergieaufnahme sollten bei Entscheidungen über Nennwanddicken geprüft werden.

8.1.2 Fließweglänge

Die Fließweglängen der Schmelzmasse werden im Fließspiraltest ermittelt, in dem die tatsächlichen Spritzbedingungen sehr genau simuliert werden. In Abbildung 8.1.1 sind die Fließspirallängen einer Auswahl von Vectra-Typen bei typischen Spritzbedingungen für zwei verschiedene Wanddicken wiedergegeben. Die Fließweglängen variieren beispielsweise mit dem Angussquerschnitt, der Werkzeug- oder Massetemperatur, insbesondere jedoch mit der Einspritzgeschwindigkeit. Die angegebenen Werte vermitteln somit ein relatives Maß für die zu erwartenden Fließweglängen des Polymeren im Werkzeug. Bei der Konstruktionsplanung sollten daher auch die in Kapitel 3 gegebenen Informationen zur Rheologie berücksichtigt werden.

8.1.3 Schwindung

Wegen seiner flüssigkristallinen Struktur ist die Volumenveränderung von Vectra beim Erstarren aus der Schmelze wesentlich geringer als bei herkömmlichen Thermoplasten. Die Schwindung ist weitgehend von der Orientierung und damit von den durch die Bauteilgestaltung, Wanddicken und Angusslage bestimmten Fließwegen im Werkzeug abhängig. In Fließrichtung kann die Schwindung sogar nahe Null liegen (vgl. beigefügte Produkt-Information bzw. Datenblätter). Die Schwindungsanisotropie ist beim ungefüllten Polymer am größten und wird – im Gegensatz zu anderen Thermoplasten – durch den Einsatz von Füllstoffen reduziert. Die Auswirkungen der Masse- und der Werkzeugtemperatur, des Einspritzdrucks und der Einspritzgeschwindigkeit auf die Schwindung sind im Vergleich zu anderen Industriekunststoffen vernachlässigbar.

Wegen der sehr geringen Schwindung sind polierte Formen zu empfehlen, um Probleme beim Entformen zu vermeiden. Gegebenenfalls ist eine ausreichende Entformungsschräge (vgl. Abschnitt 8.1.4) vorzusehen, um die Entnahme aus dem Werkzeug zu erleichtern. Das geringe Schwindungsniveau zusammen mit den geringen Wärmeausdehnungskoeffizienten (vgl. Abschnitt 3.2.3) erlaubt eine sehr hohe Fertigungspräzision

und die Einhaltung sehr enger Toleranzgrenzen (Toleranzklasse IT6). Dies ermöglicht eine hohe Reproduzierbarkeit der Teiledimensionen, was bei einer automatisierten Montage verschiedener Komponenten ein entscheidender Kostenvorteil sein kann.

8.1.4 Entformungsschrägen

Formteile aus Vectra zeigen neben der sehr geringen Schwindung eine außergewöhnlich hohe Steifigkeit. Daher lassen sie sich gewöhnlich leicht aus dem Werkzeug entformen. Formteile lassen sich nötigenfalls aus Werkzeugen mit gut polierten Kernen auch ohne jegliche Konizität entformen. Dennoch sollte das Spritzgießen von Formteilen ohne Konizität die Ausnahme bleiben. Empfohlen wird eine Entformungsschräge von $0,1^\circ$ bis $0,25^\circ$ pro Seite. Größere Schrägen erlauben eine leichtere Entformung. Hinterschnitte aufweisende Formteile sind aufgrund der hohen Materialsteifigkeit in der Regel nicht entformbar. Dennoch kann mit leichten Hinterschnitten bzw. angerauten Oberflächen die Haftung auf der gewünschten Werkzeugseite (=Auswerferseite) begünstigt und somit das Entformen gesteuert werden.

8.1.5 Verzug

Zur Vermeidung von Verzug sind kontrollierte, gleichmäßig verlaufende Fließfronten entscheidend. Die Wanddicken sollten so einheitlich wie möglich gewählt werden, da Teile zum Verzug neigen, wenn beispielsweise auf einer Seite eine dicke, auf der gegenüberliegenden eine dünne Wand liegt. Ein etwaiger Verzug wird auf ein Minimum begrenzt, wenn die Teile so konstruiert werden, dass der Kunststoff gleichmäßig und kontinuierlich in Längsrichtung von einem Formende zum anderen fließen kann, ohne Fließnähte zu bilden.

Der Unterschied zwischen den Schwindungsraten in Fließ- und in Querrichtung ist dem anderer 30% glasfaserverstärkter, teilkristalliner Kunststoffe wie PBT vergleichbar. Die Schwindungsdifferenz kann dabei durch Veränderung der Angusslage und sach-gemäße Bauteilgestaltung eliminiert oder zumindest deutlich reduziert werden. Bei komplizierteren Formen sind die Schwindungswerte äußerst schwer vorher zu sagen, da das Fließverhalten der Masse und die dementsprechende Orientierung kaum vorhersehbar sind.

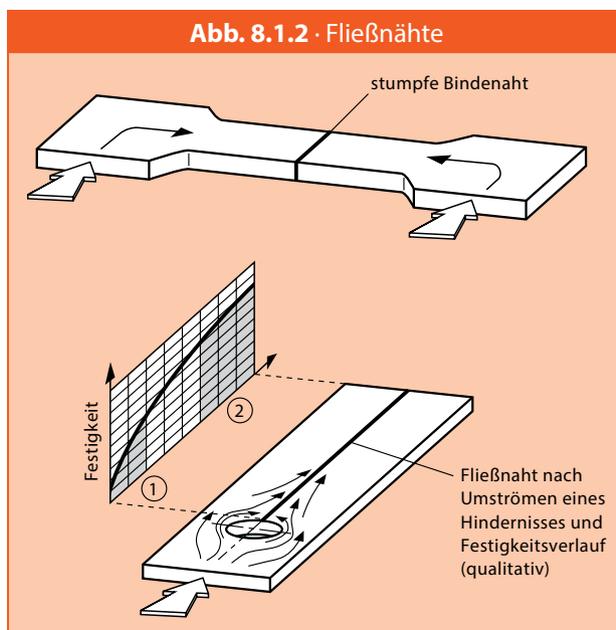
8.1.6 Fließnähte, Bindenähte

Fließnähte stellen bei jedem Formteil aus verstärkten Kunststoffen eine Schwachstelle dar. Bei flüssigkristallinen Polymeren ordnen sich im Spritzgießverfahren nicht nur eventuell vorhandene faserförmige Verstärkungsstoffe weitgehend parallel zur Fließnaht an, sondern auch die Molekülketten selbst. Die Verstärkung ist also im Bereich der Fließnaht unterbrochen. Daher muss Fließnähten große Beachtung geschenkt werden.

Kritisch sind oft so genannte stumpfe Bindenähte. Hier treffen die Schmelzefronten senkrecht zur Fließrichtung aufeinander und verharren dann (vgl. Abb. 8.1.2 oben). Die Festigkeit eines so hergestellten Probekörpers reduziert sich um bis zu 90%. Häufig führt eine solche Fließnaht auch zu einer sichtbaren Oberflächenmarkierung.

Formteile mit Fließnähten, die nach dem Umströmen eines Hindernisses entstehen, zeigen eine Festigkeit von 50 bis 60% der Querfestigkeit von Teilen ohne Fließnaht (vgl. Abb. 8.1.2 unten). Der Schmelzestrom teilt sich am Hindernis in zwei Teilströme auf und die Wiederverschweißung wird durch das schnelle Abkühlen der Schmelze beeinträchtigt. Wenn zwei

Schmelzeströme direkt hinter dem Kern in einem stumpfen Winkel aufeinander treffen, so resultieren daraus ähnlich geringe Festigkeiten wie bei den stumpfen Bindenähten. Mit zunehmender Entfernung vom Hindernis parallelisieren sich die beiden Schmelzeströme,



bis sich wieder eine einheitliche Fließfront ausgebildet hat. Die Festigkeit nimmt entsprechend der ansteigenden Entfernung vom Hindernis zu. Wegen der höheren Massetemperatur sind Bindenähte die zu Beginn des Füllvorgangs entstehen fester als solche am Fließwegende. Dieser Umstand sollte bei der Wahl der Angusslage Berücksichtigung finden.

Eine Teilgestaltung ohne Fließnähte erbringt die höchste Festigkeit. Sind Fließnähte unvermeidbar, so sollten sie durch eine entsprechende Wahl der Angusslage in Bereiche geringer Beanspruchung verlagert werden. Stumpfe Bindenähte sollten möglichst vermieden werden. Kurze Fließnähte sind ungünstiger als lange. Als vorteilhaft erweist sich die Verwirbelung der Fließnaht durch ein Strömungshindernis wie beispielsweise eine Rippe oder eine Auskernung.

Eine weitere Möglichkeit die Fließnahtfestigkeit zu verbessern, liegt in der Schaffung von Überläufen. Die Schmelze kann dann vom Fließnahtende in den Überlauf strömen. Der Überlauf wird anschließend vom Formteil abgetrennt.

8.1.7 Rippen, Ecken, Radien

Die Anordnung von Rippen an Formteilwänden ist eine Möglichkeit, eine Erhöhung der Bauteilfestigkeit zu erreichen und gleichzeitig Masseanhäufungen durch zu große Wanddicken zu umgehen. Rippen beeinflussen jedoch den Schmelzefluss im Werkzeug und können unerwünschte Fließnähte oder möglicherweise Verzug erzeugen. Wenn die Fließrichtung der Schmelze mit der Längsachse der Rippe übereinstimmt, sollte die Dicke der Rippe etwa der angrenzenden Wanddicke entsprechen (80 – 100%). Die Schmelze fließt dann in der gleichen Richtung durch die Rippe und die Wand. Ist die Rippe hingegen dünner, besteht die Gefahr, dass die Schmelze zunächst durch die Wand voreilt und dann quer dazu in die Rippe fließt. Dies hat unterschiedliche Orientierungen und dadurch Verzug zur Folge. Etwaige Dome sollten die gleiche Wanddicke wie die Rippen haben.

Rippen sollten über Radien mit der angrenzenden Wand verbunden sein. Radien von 0,1 bis 0,2 mal der Dicke der angrenzenden Wand sind empfehlenswert, um die Kerbwirkung zu reduzieren. Größere Radien bewirken ein Voreilen der Schmelze im Bereich der Anbindung der Rippe. Unerwünschte Fließnähte oder ein „Rückfüllen“ des Formteils können die Folge sein.

Übergänge, Ecken und Formteilkanten sollten mit großzügigen Radien versehen werden, wenn dies keine Nachteile für eine gleichmäßige Formfüllung (Voreilen der Schmelze, Fließnähte) mit sich bringt. Die empfohlenen Größenverhältnisse betragen 1,5 Wanddicken für Außenradien und 0,5 Wanddicken für Innenradien.

8.1.8 Durchbrüche und Auskernungen

Durchbrüche und Auskernungen oder dünnwandige Bereiche stellen besonders kritische Gestaltungspunkte dar. Die Auswirkungen von Fließnähten auf die Gesamtqualität des Formteils muss hier besonders genau bedacht werden. Üblicherweise wird bei Durchbrüchen ein Mindestabstand zwischen Loch- und Teilrand von 2 mal dem Lochdurchmesser oder mindestens der doppelten Nennwanddicke des Teils vorgesehen, um die Festigkeit zu optimieren. Allgemein gilt, je größer der Abstand, desto stabiler das Teil. Eine solche Naht kann kritisch werden, wenn eine Schnapp- oder Pressverbindung in das Loch eingesetzt werden soll, da die auftretenden Spannungen zum Bruch einer schwachen Fließnaht führen können. Ähnliche Regeln gelten für Wanddickenreduzierungen, da diese ebenfalls im weiteren Verlauf Fließnähte bilden können. Die Gestaltungsaufgabe ist hier weniger problematisch, da auf Vertiefungen normalerweise keine Außenkräfte einwirken. Wenn die Teilgestaltung nur kleinere Abstände als die empfohlenen zwischen Loch- und Teilrand zulässt, kann die Fließnaht durch die Einrichtung eines asymmetrischen Überlaufs in der Nähe der Fließnaht verstärkt werden. Dadurch verbessert sich die Festigkeit einer Bindenaht erheblich.

8.1.9 Schnapphaken und Pressverbindungen

Bei der Formteilgestaltung unter Verwendung von Vectra sollten Schnappverbindungen konisch ausgelegt werden (typischerweise mit einer 2:1 Konizität), um eine gleichmäßigere Spannungsverteilung in Längsrichtung des Stifts zu erreichen. Diese Gestaltungstechnik begrenzt die Maximalspannungen auf die Grundfläche. Durch das konische Schnapphakendesign ist auch eine stärkere Verformung möglich.

Pressverbindungen nutzen die Wechselwirkung zwischen den Komponenten, um das Formteil zusammenzuhalten. Werkstoffe wie Vectra LCP, mit niedrigem Ausdehnungskoeffizienten und hohem Modul, tendieren unter hoher Spannungsbelastung zur Rissbildung, wodurch die zum Zusammenhalten der Komponenten notwen-

dige Haltekraft verloren geht. Die Umfangsspannung, die am Dom auftritt, der bereits durch eine Fließnaht geschwächt sein kann, macht diese Art des Zusammensetzens problematisch. Durch ein spezielles Design am Innenrand des Doms oder der Bohrung (Quetschrippen), kann die Spannung verringert und die Haltekraft dennoch erhalten werden. Weitere Techniken, wie etwa das Einsetzen von Metallstiften mit Hinterschnitten ermöglichen wirksame Haltekräfte.

8.2 Werkzeugauslegung

Die Qualität eines Kunststoffformteils wird im Wesentlichen durch folgende Faktoren bestimmt:

- Eigenschaften des zu verarbeitenden Materials
- Gestaltung des Formteils
- Verarbeitung des Werkstoffs.

Erst die Optimierung all dieser Einflussgrößen führt zu einem Formteil hoher Qualität. Der Werkzeugauslegung und der Gestaltung des Formteils kommt bei der Verarbeitung von LCP eine besondere Bedeutung zu. So hat bereits die Lage des Anschnitts und dessen Ausführung einen spürbaren Einfluss auf die erreichbare Qualität des Formteils. Deshalb ist eine enge Zusammenarbeit von Rohstoffhersteller, Konstrukteur, Verarbeiter und Kunde bereits zu Beginn eines Projekts sehr sinnvoll.

Die Verarbeitung wird einerseits durch die eingestellten Spritzparameter und andererseits durch die Maschinen- und Werkzeugauslegung bestimmt. Für die mechanische, thermische und rheologische Auslegung eines Werkzeugs stehen moderne Simulationsverfahren zur Verfügung.

Ob ein Formteil den Anforderungen, die möglichst umfassend bekannt sein sollten, genügt, kann in vielen Fällen mit Hilfe der Festigkeitslehre und der Werkstoffkunde abgeschätzt werden. Jedoch sollten stets realitätsnahe Versuche die Praxistauglichkeit nachweisen.

8.2.1 Werkzeugmaterialien

Die Auswahl der richtigen Stahlsorten für die Werkzeugkonstruktion kann für ein zufrieden stellendes Ergebnis entscheidend sein. Ähnlich Kunststoffen, die bestimmten Verarbeitungs- und Leistungsanforderungen entsprechend zugeschnitten werden, werden auch Stähle gemäß den besonderen Bedingungen und Anforderungen der Werkzeugherstellung, der Verarbeitung und

der vorgesehenen Anwendung legiert. Das Formwerkzeug besteht aus vielen verschiedenen Teilen, wie z. B. Kavität, Verteilerkanal, Entlüftungen, Stiften, Kernen, Schiebern usw. Eine bestimmte Anwendung kann z. B. einen Werkzeugstahl mit hoher Härte erfordern, um Abrieb und Verschleiß in der Trennebene zu widerstehen, während eine andere Anwendung besondere Zähigkeit verlangen kann, um gegen Materialermüdung gerüstet zu sein. Im allgemeinen sind Stähle mit größerer Härte spröder, und Stähle mit höherer Zähigkeit weniger verschleißfest. Das Auswahlverfahren der passenden Werkzeugstähle muss unter Berücksichtigung einer Reihe

von Informationsquellen geschehen: Angaben des Stahlherstellers, des Werkzeugkonstruktors und des Werkzeugherstellers sollten ebenso beachtet werden wie die Vorgaben des Kunststoffherstellers. Die Verschleißanfälligkeit des Werkzeugs kann durch eine Nachbehandlung verringert werden. Wo Verschleißprobleme zu erwarten und lange Standzeiten geplant sind, sollte die Verwendung von Einsätzen erwogen werden. Tabelle 8.2 zeigt eine Liste einiger Stahlsorten, die für die Konstruktion von Spritzgießwerkzeugen in Frage kommen.

Tabelle 8.2 · Liste einiger ausgewählter Werkzeugstähle

Stahlsorte USA Deutschland	Härte	Eigenschaften	Häufige Anwendungsgebiete	Nachteile
D-2 1.2379	60-62	gute Härte, gute Verschleißfestigkeit	Angusseinsätze und Kavitäten mit starkem Verschleiß durch Glas und Füllstoffe	Spröde und nicht so leicht zu schleifen und zusammensetzen
A-8	56-58	gute Adhäsionsverschleißfestigkeit, gute Zähigkeit	Gleitflächen, Heber und Nocken	mäßige Abriebfestigkeit
A-6	56-58	gute Wärmeformbeständigkeit, hohe Härte und Kompressionsfestigkeit	universeller Lufthärter	mittlere Verformbarkeit
A-2 1.2363	56-58	luftgehärtet, hohe Abriebfestigkeit und Zähigkeit		mittlere Verformbarkeit
S-7	54-56	sehr gute Dauerschwingfestigkeit und Zähigkeit		mäßige Abrieb- und Adhäsionsverschleißfestigkeit
O-1 1.2510	56-58	universeller ölgehärteter Stahl mit mittlerer Haftverschleißfestigkeit	kleine Einsätze und Kerne	mittlere bis niedrige Zähigkeit
L-6	55-57	sehr gute Zähigkeit, ölgehärteter mit guter Wärmeformbeständigkeit		mittlere Härte mit mittlerer bis niedriger Verschleißfestigkeit
P-5	55-57	gut schmiedbar	Senkstahl	Einsatzhärtung. Geringe Kernhärte, niedrige Haltbarkeit und Wärmeformbeständigkeit
P-6	55-57	leicht zu verarbeiten und zu schweißen		niedrige Wärmeformbeständigkeit bei mittlerer bis niedriger Haltbarkeit
P-20 1.2311	28-34	vorgehärteter Stahl, sehr zäh, leicht zu verarbeiten		große Kavitäten Neigung, sich Festzufressen und hoher Verschleiß, geringe Härte
H-13 1.2344	46-48	luft- oder vakuumgehärteter Stahl mit sehr hoher Zähigkeit		geringe Härte, geringe Härte, geringe Dauerschwingfestigkeit
SS 420 1.2083	46-50	sehr hohe Chemikalienbeständigkeit		
Spezialstähle				
M-2	62-64	Extreme Härte, Abrieb- und Adhäsionsverschleißfestigkeit	Angusseinsätze, Kernstifte, Trennebenen	schwierig und teuer in der Verarbeitung
Böhler „M340“	56	korrosionsbeständig		
Böhler „K190“	60-63	korrosionsbeständig		
Böhler „M390“	56-62	korrosionsbeständig und äußerst dimensionsstabil		
Zapp CPM T420V	57	korrosionsbeständig, äußerst dimensionsstabil und gut polierbar		
Zapp CPM 3V	53-63	korrosionsbeständig, äußerst dimensionsstabil und hohe Zähigkeit		
Zapp CPM 9V	55-67	äußerst dimensionsstabil		niedrige Korrosionsfestigkeit
WST „G25“	64-66	korrosionsbeständig		
Elmax ¹⁾	56-58	sehr korrosions- und verschleißbeständig		
Ferro-Titanit ²⁾ S	66-70	extrem hohe Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit		

¹⁾ Eingetragenes Warenzeichen der Firma Böhler-Uddeholm

²⁾ Eingetragenes Warenzeichen der ThyssenKrupp Stahlunion GmbH

Um zufrieden stellende Verschleißfestigkeiten zu erreichen, sind Härtegrade von mindestens $R_c \geq 56$ empfehlenswert, besonders wenn stark gefüllte Kunststoffe verarbeitet werden sollen. Für die Verarbeitung von Vectra LCP werden durchgehärtete Stähle wie z.B. S-7 empfohlen. Da Vectra nicht korrosiv wirkt, sind korrosionsgeschützte Spezialstähle im allgemeinen nicht erforderlich. Prallt die Schmelze beim Einströmen in die Kavität gegen eine Wand oder einen Kern, so sind diese Bereiche höherem Abriebverschleiß unterworfen. Deshalb sollten dort verschleißfeste Stoffe, wie die Hartmetall-Legierung D-2 oder 1.2379, erwogen oder geeignete Oberflächenbehandlungen vorgenommen werden. Die Werkzeugoberfläche sollte glatt poliert sein, um die Oberflächeneigenschaften zu optimieren und die Entformung zu erleichtern. Die Werkzeuge können mit Wasser oder Öl beheizt werden.

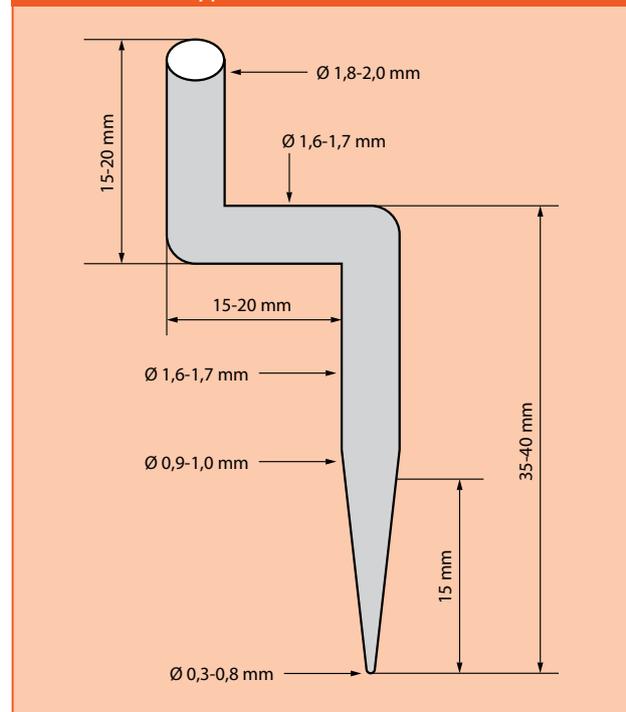
8.2.2 Oberflächenbehandlung

Die Oberflächenbehandlung spielt eine wichtige Rolle für die leichte Verarbeitbarkeit und auch die optische Wirkung der Formteile. Vectra zeigt eine so niedrige Schwindung, dass selbst geringfügige Hinterschneidungen die Entformung erschweren können. Selbst EDM-(Electric Discharge Machine) oder Erosionsmarkierungen können das Formteil zurückhalten oder eine ungleichmäßige Entformung verursachen. Aus diesem Grund sollte das Werkzeug entsprechend poliert werden. Tief oder schlecht gezogene Stifte, Kerne und Kavitäten erfordern besondere Aufmerksamkeit. In Entformungsrichtung sollte eine Feinpolierung erfolgen.

8.2.3 Kanalsysteme

Alle gebräuchlichen Kanalsysteme (Heißkanal-, konventionelle Kaltkanal- und Heißkanalsysteme mit Kaltunterverteiler) sind für das Spritzgießen mit Vectra LCP geeignet. Dabei sind sowohl vollrunde wie auch trapezförmige Kanäle verwendbar, wobei runden jedoch der Vorzug zu geben ist. Bei Mehrfachkavitäten muss das Kanalsystem sorgfältig ausbalanciert werden, um Schwierigkeiten beim Füllen und bei der Entformung zu vermeiden.

Abbild. 8.2.1 · Typischer Verteilerkanal für Vectra® LCP



Heißkanalsysteme haben sich, dank der Vermeidung eines sonst unverhältnismäßig hohen Angussanteils am Schussgewicht, vor allem für die Herstellung kleiner Bauteile bewährt. Es stehen heute technisch ausgereifte Systeme für die Verarbeitung von LCP zu Verfügung. Wichtig ist darauf zu achten, dass die sich im Heißkanal befindliche Kunststoffmasse so gering wie möglich ist. Da die Verweilzeit im Heißkanal additiv zur Verweilzeit auf der Maschine ist sollte das Volumen des Heißkanals ein Äquivalent von fünf Schuss nach Möglichkeit nicht überschreiten. Die Gesamtverweilzeit (Maschine plus Heißkanal) ist auf fünf bis maximal zehn Minuten zu begrenzen.

Bei der Konstruktion von Kanalsystemen für die Vectra-Verarbeitung muss der starke Einfluss von Scherkräften auf die Viskosität berücksichtigt werden. Dabei ist es gleich ob es sich um ein Heißkanalsystem oder um einen Kaltverteiler handelt. Um die besten Füllbedingungen zu schaffen, sollte eine höhere Scherung als bei anderen technischen Kunststoffen angewandt werden. Daher müssen die Kanäle im allgemeinen einen kleineren Durchmesser haben und die Scherung sollte sich kontinuierlich erhöhen. Dies wird am besten durch entsprechende Kanalquerschnittsverengungen an jeder Verzweigung erreicht. Verringerungen der Fließgeschwindigkeit zum Beispiel durch gleich bleibende Durchmesser an Verteilerverzweigungen wirken sich auf die Beständigkeit von Scherung, Viskosität und Orientierung negativ aus. Die flüssigkristalline Struktur von Vectra hat zur Folge, dass die Schmelz- und Verarbeitungsbedingungen einen starken Einfluss auf das Fließverhalten und die Orientierung ausüben. Ein typischer Vectra-Anguss ist in Abbildung 8.2.1 skizziert.

8.2.4 Angusslage

Bei der Entscheidung über die Angusslage müssen Orientierung, Verzug, Freistrahlbildung und Fließnahteffekte gleichermaßen bedacht werden. Wie bei allen Kunststoffen sollte die Angusslage so gewählt werden, dass ein möglichst ungehindertes und gleichmäßiges Füllen der Form stattfindet. Die Angusslage sollte den Fließweg der Schmelze durch die Kavität so steuern, dass die mechanischen Eigenschaften in Richtung der stärksten Beanspruchung optimiert werden. Dabei ist zu beachten, dass die Viskosität von LCP sehr sensibel auf Druckgefälle reagiert. Der Werkstoff ist daher immer bestrebt Formteile von dick nach dünn zu füllen, was bei Anbindung an einer Stelle mit geringer Wandstärke zu einem ungleichmäßigen Füllen der Kavität führen kann. Daher sollte die Anbindung zweckmäßigerweise an der dicksten Stelle des Formteils erfolgen. Ein Anschnitt unmittelbar an einer offenen Kavität kann allerdings problematisch sein, da es hierbei zur Bildung eines Freistrahls kommen kann. Freistrahlbildung führt in der Regel zu einer Schwachstelle und somit zu einer Qualitätsminderung des Formteils. Um Freistrahlbildung zu vermeiden sollten Angüsse so positioniert werden, dass der Massestrom unmittelbar auf eine Rippe, einen Kern oder eine nahe gelegene Wand prallt.

Die Schwindung des Formteils in Fließrichtung ist geringer als in Querrichtung. Die daraus resultierende Schwindungsdifferenz kann zu Verzug führen. Bei sehr flachen Teilen sollten die Angüsse so platziert sein, dass Orientierungs- (Schwindungs-) Unterschiede minimiert

werden. Die hohe Fließfähigkeit von Vectra erlaubt normalerweise eine Beschränkung auf nur einen Anguss. Die Vermeidung einer Vielzahl von Angüssen minimiert die Anzahl der Fließnähte. Wo mehrere Angüsse unvermeidbar sind, sollten diese so angelegt werden, dass die Fließnähte in Bereiche mit geringer mechanischer Belastung und Spannung fallen. Dabei ist auch zu beachten, dass Fließnähte wesentlich belastbarer sind als stumpfe Bindenähte (vgl. Abb. 8.1.2). Die Angusslage sollte außerdem so gewählt werden, dass die Fließnaht möglichst früh im Spritzgießprozess entsteht, da so ein gutes Verschweißen der Fließfronten gewährleistet ist.

Da diese verschiedenen Effekte in ein sorgfältig ausgewogenes Verhältnis zueinander gebracht werden müssen, ist es wichtig, den Fließwegverlauf beim Testen von neuen oder bestehenden Werkzeugen zu ermitteln. Dazu wird einfach die Schussgröße begrenzt, und eine Serie von Füllstudien untersucht, die den gesamten Füllprozess stufenweise abbilden, also vom Augenblick des Eintritts der Masse durch den Anguss bis zum Zeitpunkt der vollständigen Füllung. Bei der Anfertigung neuer Werkzeuge ist es sinnvoll den Angussbereich in einen Einsatz zu integrieren um sich möglicherweise ergebende Änderungen oder Nachbesserungen zu erleichtern.

8.2.5 Angussgestaltung

Ein Freistrahle entsteht dort, wo Kunststoff durch einen Anschnitt in eine Kavität fließt, ohne unmittelbar auf ein Hindernis zu treffen. Dadurch entsteht ein strangartiger Schmelzestrahle, der im Falle von LCP sofort erstarrt und dann im weiteren Verlauf von nachfolgender Schmelze umschlossen wird. Idealerweise sollte das Polymer unmittelbar am Anschnitt einen Quellstrom mit einheitlicher Fließfront bilden, welcher die Kavität gleichmäßig füllt. Vectra zeigt einen sehr geringen Quellfluss beim Austritt aus dem Anguss und neigt daher stärker zur Freistrahlbildung als viele andere Thermoplaste.

Bei Dreiplattenwerkzeugen und Tunnelangüssen ist eine kleinere Angussgröße praktischer für einen sauberen Abschluss. Hier muss wegen der gegenüber anderen Thermoplasten erhöhten Fließgeschwindigkeit verstärkt darauf geachtet werden, dass die Masse auf einen Kern oder eine Werkzeugwand trifft, um Freistrahlbildung zu verhindern und die Entstehung einer gleichmäßigen Fließbewegung zu gewährleisten. Formteile aus Vectra zeigen in Fließrichtung eine höhere Festigkeit. Deshalb sollten Angüsse auf der Entformungsseite des Werkzeugs angebracht werden.

So werden die Angüsse und Kanäle eher von der Form gedrückt als gezogen. Bei Dreiplattenwerkzeugen sollten die Angussdurchmesser zwischen 20 und 50% der Wanddicke liegen, damit die Angüsse leicht abbrechen. Die entsprechenden Anschnitte sollten im Durchmesser zwischen 0,3 – 0,8 mm betragen. Die Erfahrung mit Vectra zeigt, dass engere Angusskanäle bzw. Anschnitte wegen der damit verbundenen Scherungserhöhung eine Viskositätsabsenkung bewirken und somit ein einfacheres Füllen der Kavität ermöglichen.

8.2.6 Angussarten

Ähnlich wie bei der Festlegung der Anschnittlage ist es wichtig, den zur Teilgeometrie passenden Angusstyp zu bestimmen. Nachfolgend werden die gängigen Angusstypen charakterisiert. Für Vectra wählen Spritzgießer meistens Tunnelangüsse.

8.2.6.1 Tunnelanguss

Tunnelangüsse (vgl. Abbildung 8.2.2) bedürfen einer sorgfältigen Größengestaltung, wobei die möglichen Probleme bei der Entformung größerer Angüsse gegen die Tendenz zur Freistrahlbildung kleinerer Angüsse gegeneinander abgewogen werden müssen.

Außerdem muss gewährleistet sein, dass der an den Kanal angrenzende Angussbereich flexibel genug ist, um sich beim Öffnen des Werkzeugs von der Schneidkante wegdrücken zu lassen. Vectra ist äußerst steif, so-

dass die bei der Angussgestaltung maximale Flexibilität und minimale Verformung beim Ausstoßen aus der Form angestrebt werden sollte. Der Kanaldurchmesser sollte klein gehalten und der Auswerfer nahe am Anguss platziert werden (vgl. Abbildung. 8.2.2 Länge l_1)

Der Konvergenzwinkel des Konus sollte relativ klein sein (ca. 30°) und der Winkel des Angussbereiches zum Kanal relativ steil (ca. 60°). Entscheidend ist, dass der Tunnelanguss an der Entformungsseite des Werkzeugs angelegt wird, damit der Entformungshub das Formteil sauber vom Kanal trennen kann. Die Auswerfer sollten stabil und nahe am Anguss angebracht sein, da Vectra in dem hoch orientierten Angussbereich eine besonders hohe Zähigkeit und Scherfestigkeit zeigt. Wenn der Tunnelanguss sich auf der feststehenden Seite befindet, könnte der Kanal an der Auszugskralle einreißen anstatt am Anschnitt zu brechen.

8.2.6.2 Punktanguss

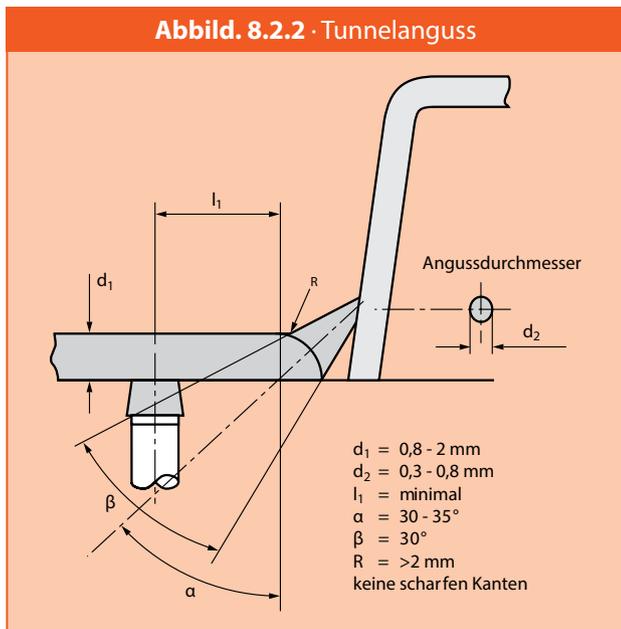
Punktanschnitte werden für dünnwandige Formteile verwendet und, zur leichteren Angussentfernung, bei den meisten Dreiplattenwerkzeugen. Bei allen kleinen Angüssen sollte die Polymerschmelze möglichst direkt auf einen Kern, eine Rippe oder eine Kavitätswand geleitet werden, um Freistrahlbildung zu unterbinden. Wenn diese Verfahrensweise nicht praktikabel ist, sollte der Anguss vergrößert werden, um die Freistrahlbildung zu minimieren.

8.2.6.3 Filmanguss

Filmanschnitte sind besonders bei flachen Teilen empfehlenswert. Ein ausreichend dicker Querkanal vor der Kavität sorgt dafür, dass die Schmelze sich gleichmäßig über den Querkanal verteilt, bevor sie in die Kavität einfließt. Dadurch werden die Fibrillen in Fließrichtung orientiert und der Verzug so gering wie möglich gehalten.

8.2.6.4 Ringanguss, Schirmanguss

Bei zylindrischen Formteilen ist eine gleichmäßige Fließfront für das Erreichen von Konzentrität, Dimensionsstabilität und Oberflächenqualität entscheidend. Ein Schirm- oder Ringanguss gewährleistet eine gleichmäßige Formfüllung in diesem Fall am besten. Bei beiden Angussarten sollte der Filmanschnitt einen deutlich dünneren Querschnitt haben, als der Kanalring oder die Mittelscheibe. Dieser Dimensionsunterschied zwingt den Ring oder die Scheibe, sich vollständig zu füllen, bevor die Masse den Film durchfließt.



Die Entscheidung über die Art des Rings oder Schirms hängt von der Art des Formteils und des Werkzeugs ab. Bei einem internen Schirmanguss verbleibt der Angussrest im Inneren des Teils Abhängig von der Werkzeuggestaltung kann es vorkommen, dass der Kern nicht so fest sitzt wie bei einem externen Ringanguss. Mit äußerem Ringanguss kann der Kern zwar stabil gefangen werden aber der Angussrest verbleibt hierbei außen am Teil.

8.2.6.5 Überläufe

Eine sehr wirkungsvolle Methode zur Verstärkung von Fließnähten besteht darin, an der Bindenaht einen Überlauf in das Werkzeug zu integrieren. Die damit erreichte Umwandlung der ebenen Bindenahtfläche in eine dreidimensionale Kontur festigt eine normalerweise recht schwache stumpfe Bindenaht erheblich. Dies geschieht, indem zunächst die Füllung der Form in gewohnter Weise vorgenommen wird. Während des Druckanstiegs gegen Ende der Formfüllung fließt ein kleiner Teil der Masse durch die Nahtfläche in die Überlaufkavität. Um ein funktionsfähiges Überlauf-Design zu konstruieren, muss die Werkzeuggestaltung abgeschlossen, die Teildimensionierung fertig gestellt und das Werkzeug für die abschließende Polierung vorbereitet sein. Es dürfen also keine weiteren Veränderungen an der Metallkontur vorgenommen werden.

Der Schlüssel zu einer erfolgreichen Gestaltung besteht darin, den Überlauf leicht versetzt zur Fließnaht anzubringen. Die Fließnahtbildung bleibt dann konstant und der Überlauf kann dann ca. 1,5 – 2,5 Nennwanddicken von der Bindenahtposition entfernt angebracht werden. Tunnelangüsse können eingesetzt werden, allerdings muss die Fläche so klein gewählt werden, dass die Masse **erst dann** zu fließen beginnt, wenn die Form gefüllt ist. Dadurch wird die Füllung des Werkzeugs und die Bildung der schwachen Bindenaht vollständig abgeschlossen, bevor die Bindenahtfläche in Richtung Überlauf durchströmt wird. Wenn die Angusslage zu nah oder zu weit entfernt von der Naht ist, wird es nicht zu einem Fließen der Masse an der Naht und somit nicht zu einer Stärkung der Bindenaht kommen. Ein beweglicher Einsatz an der ungefähren Bindenahtstelle vereinfacht das Experimentieren mit den Angusslagen zur Verbesserung der Festigkeit.

8.2.7 Entlüftung

Die ohnehin niedrige Viskosität von Vectra nimmt mit Erhöhung der Einspritzgeschwindigkeit noch einmal deutlich ab. Außerdem kann eine hohe Einspritzgeschwindigkeit die Fließnahtfestigkeit erhöhen. Deswegen – und um kurze Zykluszeiten zu erzielen – wird Vectra üblicherweise mit hohen Einspritzgeschwindigkeiten gefahren, so dass das Werkzeug generell über eine gute Entlüftung verfügen sollte. Da Vectra® LCP eine extrem geringe Viskosität aufweist, sollten die ausreichend vorhandenen Entlüftungsöffnungen nach Möglichkeit poliert und nicht weiter als 0,025 mm bemessen sein. Besonders bewährt haben sich Konturentlüftungen bereits im Verteiler sowie in der Trennebene. Weitere Entlüftungen sollten besonders an solchen Stellen der Kavität vorgesehen sein, an denen mit Lufteinschlüssen während des Füllverfahrens zu rechnen ist, also z.B. im Bereich von Bindenähten oder Domen. Mehrere Entlüftungskanäle ermöglichen eine Verteilung des Abluftstroms.

8.2.8 Entformung

Das Auswerfen des Teils aus der Form geschieht im allgemeinen durch Entformungsstifte oder -blätter. Dabei handelt es sich um runde oder rechteckige Stifte, die an den für den Formteilausstoß geeigneten Stellen im Werkzeug zum Einsatz kommen. Das Hauptanwendungsgebiet für Entformungsblätter stellen extrem schmale Teile dar, wie Rippen und andere Vorsprünge, die eine zufrieden stellende Entformung durch herkömmliche Ausdrückstifte nicht erlauben. Lage und Anzahl der Entformungsstifte/-blätter sind von der Formteilgröße und -gestaltung abhängig. Die Entformungsstifte sollten möglichst dort am Werkzeug angebracht werden, wo Fließnähte verlaufen oder wo eine Schwindung des Kunststoffes zu erwarten ist (u. a. Ecken).

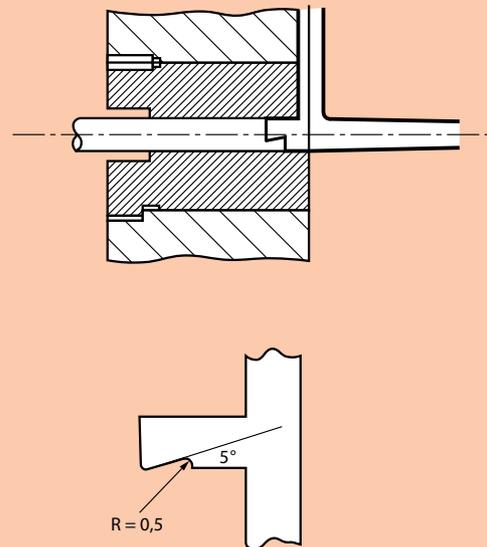
Die Entformungsstifte sollten so positioniert werden, dass das Formteil gleichmäßig vom Kern gedrückt wird. Wenn die Größe der Entformungsstifte definiert ist gilt: Je größer die Anzahl der eingesetzten Stifte, desto größer die wirksame Ausstoßkraft und desto kleiner die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Verformungserscheinungen. Aus diesem Grund sollten eher zu viele als zu wenige Entformungsstifte vorgesehen werden.

Erfahrene Werkzeugbauer sind meist in der Lage, Entformungsprobleme vorher zu sehen. Gelegentlich verhindern ästhetische Erwägungen oder Raumangel die Einbringung der wünschenswerten Stiftzahl. Eine Gestaltung von Formwerkzeugen unter solchen Bedingungen ist nicht zu empfehlen. Wenn eine zufriedenstellende Entformungsvorrichtung nicht schon in den Entwurf auf dem Papier einbezogen wird, ist es schwierig, wenn nicht unmöglich, diese nachträglich an dem fertigen Werkzeug anzubringen.

Wenn ein Formteil ein gleichmäßiges Ausstoßen nicht gewährleistet, kann kein regelmäßiger Zyklus entstehen, wodurch eine serienmäßige und wirtschaftliche Produktion des Teils ausgeschlossen wird.

Aufgrund seiner besonderen Materialeigenschaften eignen sich „Z-Kralen“ erfahrungsgemäß sehr gut für die Verarbeitung von Vectra. Abbildung 8.2.3 stellt schematisch eine für die Verarbeitung von Vectra typische Auswerferkralle dar.

Abbild. 8.2.3 · Auswerferkralle



9. Nachbearbeitung

9.1 Tempern

Die an sich schon hohe Wärmeformbeständigkeit von Vectra lässt sich durch eine Warmlagerung der Formteile noch um 30 bis 50 °C verbessern. Diese thermische Nachbehandlung kann unter Verwendung von Luft oder Stickstoff im Umluftofen vorgenommen werden, und zwar bei den folgenden Verfahrensbedingungen:

Vectra A-Typen

- in 2 h von Raumtemperatur auf 220 °C aufheizen
- in 1 h allmählich von 220 °C auf 240 °C steigern
- 2 h bei 240 °C halten
- in 1 h allmählich von 240 °C auf 250 °C steigern
- 2 h bei 250 °C halten
- auf Raumtemperatur abkühlen

Vectra Ei- und S-Typen

- in 2 h von Raumtemperatur auf 220 °C aufheizen
- in 1 h allmählich von 220 °C auf 250 °C steigern
- 2 h bei 250 °C halten
- in 1 h allmählich von 250 °C auf 290 °C steigern
- 2 h bei 290 °C halten
- auf Raumtemperatur abkühlen

Das Tempern von Vectra kann zu leichten Farbabweichungen führen. Die Qualität wird dadurch nicht negativ beeinflusst.

9.2 Verbindungstechnik

Das Fügen und die Oberflächenbehandlung von Formteilen aus Vectra LCP unterscheidet sich nicht wesentlich von den Verarbeitungsmethoden für herkömmliche teilkristalline Kunststoffe wie Nylon oder Polyester. Ein Faktor, der bei der Gestaltung von Fügeflächen und Verbundtechniken einkalkuliert werden muss, ist die relativ geringe Fließnahtfestigkeit flüssigkristalliner Kunststoffe. Verbindungen durch Anschmelzen von Teilen setzen eine hohe Verformung durch Scherung oder eine ausreichend große Fügefläche voraus, damit die Verbindung Stabilität besitzt. Bei der Verwendung von Befestigungsarten, welche die Fließnähte einer starken Beanspruchung aussetzen – entweder beim Zusammensetzen oder während des Gebrauchs – muss die Stärke der Fließnähte entsprechend bedacht werden. Obwohl Vectra-Kunststoffe gute Chemikalienbeständigkeit zeigen, lassen sie sich mit Hilfe von Klebstoffen fügen, sowohl mit wie ohne Oberflächenbehandlung. Wie bei allen Spritzgieß-Formteilen sind maschinell bearbeitete Vectra-Probekörper sehr unvollkommene

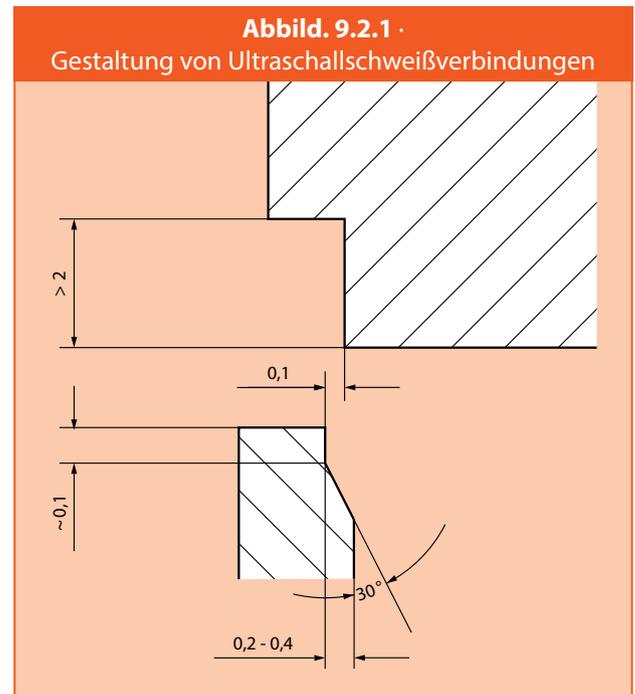
Imitationen der tatsächlichen Spritzgießteile, da die besonderen Merkmale von Vectra während des Schmelzeflusses im Spritzgießverfahren entstehen.

9.2.1 Schweißen

Im Zuge der Rationalisierung und der Integration von Kunststoff-Bauteilen gewinnt die Fügetechnik in zunehmendem Maße an Bedeutung. Ausfertigungs- und montagetechnischen Gründen ist es vorteilhaft, Formteile im nachhinein miteinander zu verbinden.

9.2.1.1 Ultraschallschweißen

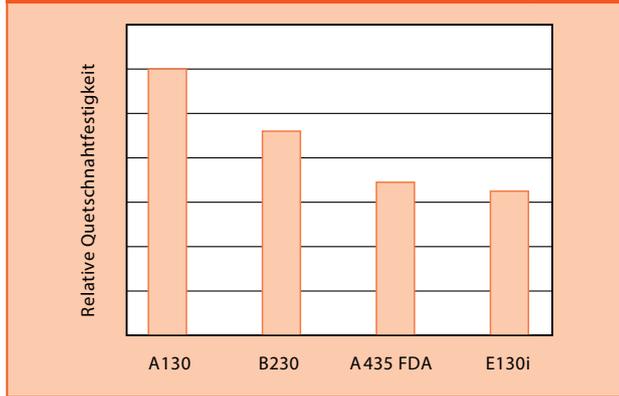
Der wichtigste Aspekt beim Ultraschallschweißen von Vectra-Formteilen ist das Entstehen ausreichender Quetschnähte. Beim Ultraschallschweißen mit Vectra hängt die Nahtfestigkeit hauptsächlich von der Scherlänge ab; je größer die Scherlänge, desto höher die Festigkeit. Andere Techniken wie der Einsatz von Energierichtungsgebern, resultieren in geringen Festigkeiten. Die Quetschnaht sollte in der bei Hochmodulwerkstoffen üblichen Weise gestaltet werden, d. h., mit einer Überlappung von ca. 0,2 bis 0,4 mm und einer Tiefe von >2 mm (vgl. Abbildung 9.2.1). Die Festigkeit der resultierenden Schweißnaht wird in höherem Maße durch die Tiefe der Naht als durch die Überlappungsfläche bestimmt.



Alle Kunststoffe mit hohem Schmelzpunkt erfordern einen hohen Energieeintrag beim Schweißen. Für die Mehrzahl der Fälle sollte die Benutzung eine 20-kHz-Geräts ausreichen. Bei sehr kleinen Teilen – unter 13 bis 19 mm Durchmesser – ist die Verwendung eines 40-kHz-Geräts erwägenswert. Bei einer Frequenz von 20 kHz sollte die Amplitude der Sonotrode ca. 0,05 – 0,08 mm betragen. Bei 40 kHz ungefähr die Hälfte davon.

Die zu erwartende Schweißnahtfestigkeit hängt sowohl von den konkreten Schweißbedingungen wie auch vom verwendeten Vectra-Typ ab. Unter Berücksichtigung der genannten Richtlinien kann von einem Erreichen von etwa 30 bis 50% der Grundmaterialfestigkeit ausgegangen werden. Abbildung 9.2.2 gibt die relativen Nahtfestigkeiten für verschiedene Vectra-Typen wieder.

Abbild. 9.2.2 · Ultraschallschweißnahtfestigkeit

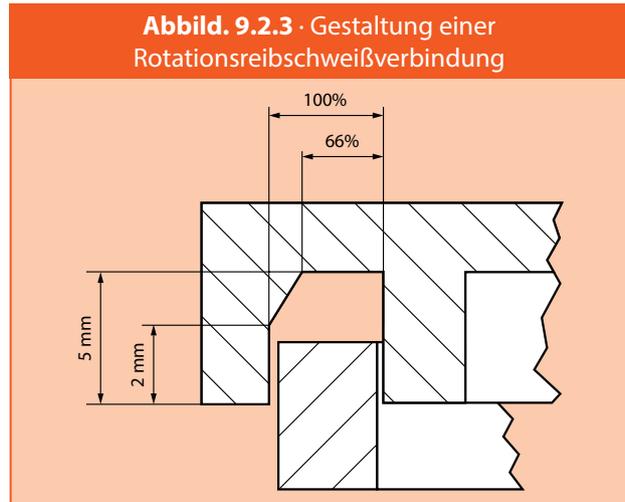


Bei Ultraschallschweiß-Versuchen wurde Sonotrodenantrieb beobachtet, der durch eine Hartmetallbestückung der Sonotrode oder durch PE-Folienzwischenlagen vermieden werden kann. Wegen der Steifheit von Vectra kann es beim Ultraschallschweißen zu einer stärkeren Lärmentwicklung kommen. Eine Silikonkautschukunterlage für das Formteil ist hier zur Schalldämpfung sinnvoll.

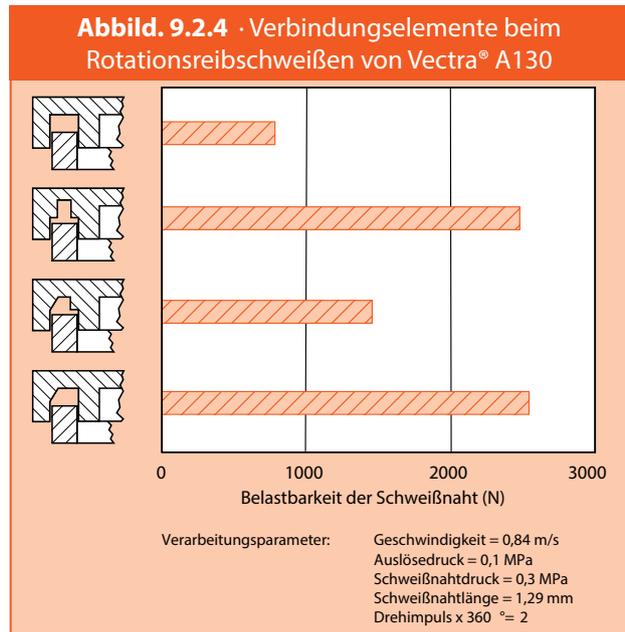
9.2.1.2 Rotationsreibschweißen

Das Fügedesign ist für die Erreichung einer möglichst hohen Schweißnahtfestigkeit entscheidend. Bei einer optimalen Gestaltung (vgl. Abbildung 9.2.3) kann eine Festigkeit von 50% der Materialeigenschaften erzielt werden. Das Kompressionsverhalten erschwert die Festlegung der am besten geeigneten Fügefläche am Formteil. Abbildung 9.2.4 stellt repräsentative Werte für

Abbild. 9.2.3 · Gestaltung einer Rotationsreibschweißverbindung



Abbild. 9.2.4 · Verbindungselemente beim Rotationsreibschweißen von Vectra® A130



Schweißnahtfestigkeiten in Abhängigkeit vom Design dar.

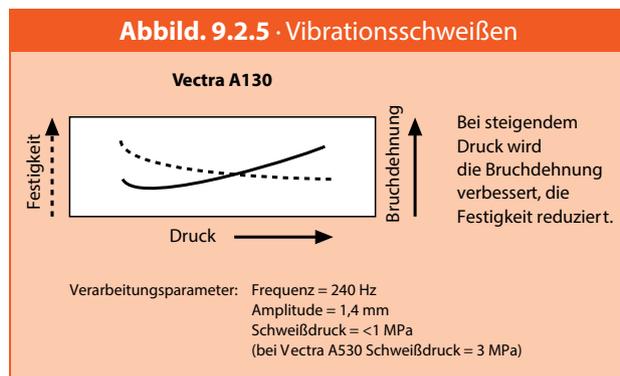
9.2.1.3 Spiegelschweißen

Die Anwendung des Spiegelschweißverfahrens ist bei der Bearbeitung von Vectra-Formteilen nicht empfehlenswert. Die Nahtfestigkeit liegt zwischen 12 und 15% der Materialfestigkeit. Es bestehen keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Werten in Fließ- und Querichtung. Um die Gefahr des Festklebens des Formteils an der Platte zu vermeiden, sollte ein direkter Kontakt mit dem Heizspiegel unterbleiben. Die übertragene

Strahlungswärme enthält genügend Energie zum An-schmelzen.

9.2.1.4 Vibrationsschweißen

Beim Vibrationsschweißen erzeugt die besondere Polymer-Struktur von Vectra entweder lange Schweißzeiten bei geringem Druck oder kurze Schweißzeiten mit hohem Druck (vgl. Abbildung 9.2.5). Ein niedriger Schweißdruck wird empfohlen. Damit läßt sich eine Festigkeit von etwa 16% der Materialeigenschaften erreichen. Vibrationsschweißen parallel zur Fließrichtung ist nicht empfehlenswert.



9.2.1.5 Elektromagnetisches Schweißen

Auch elektromagnetische Schweißverfahren sind für Vectra geeignet. Die Schweißqualität hängt von den



Verarbeitungsbedingungen ab, die gemeinsam mit dem Ausrüstungshersteller festgelegt werden müssen. Aus Effizienzgründen kann die längere Schweißzeit durch die Verwendung eines Multi-Schweiß-Systems kompensiert werden. In Schweißversuchen (vgl. Abbildung 9.2.6) hielten Vectra A130 und Vectra A625 Formteile einer Bruchlast von 1300 – 1650 N stand (vgl. Tabelle 9.2.1).

Tab. 9.2.1 · Elektromagnetische Schweißnahtfestigkeiten

Typ	Druck (bar) Auslösen	Schweißdruck (mm)	Tiefe (mm)	Gasdichte 10 min./2,5 bar	Bruchlast (N)
Vectra A130	0,5	1,0	3,2 – 3,4	ja	1664 ± 57
	1,0	2,0	3,4 – 3,5	ja	1542 ± 162
	1,0	3,0	3,4 – 3,5	ja	1550 ± 119
Vectra A625	0,5	1,0	2,3 – 2,6	ja	1302 ± 288
	1,0	2,0	2,8 – 3,2	ja	1752 ± 445
	1,0	3,0	3,2 – 3,3	ja	1665 ± 108

9.2.2 Heißumformen

Das Hotstamping-Verfahren ist die am häufigsten gebrauchte Methode, um einer Niete an einem Vectra-Formteil einen „Kopf“ aufzusetzen. Die Benutzung eines Heizelements mit sehr harter Oberfläche ist sinnvoll, um den Verschleiß bei der Bearbeitung von Formteilen gering zu halten, die aus den häufig gebrauchten glasfaserverstärkten Typen gefertigt sind. Die Heizgeschwindigkeiten und Temperaturen entsprechen denen anderer teilkristalliner oder amorpher Thermoplasten wie Polyester, Polyamid oder Polycarbonat. Verweilzeiten, Temperaturen, Drücke und Zykluszeiten werden am besten experimentell an einem Probeformteil ermittelt, um sicher zu gehen, dass die Parameter für ein stabiles Produktionsverfahren gefunden sind.

9.2.3 Klebeverbindungen

Vectra-Formteile lassen sich mit handelsüblichen Klebstoffen verbinden. In den meisten Fällen sind die mit unbehandelten Oberflächen erzielten Klebefestigungen für das Zusammensetzen von Funktionsteilen ausreichend. Die Stärke der Haftverbindung lässt sich durch verschiedene Arten der Oberflächenbehandlung, welche die Benetzungsqualität erhöhen, weiter verbessern. Dazu gehören Methoden wie Plasmabehandlung, Koronabehandlung, Anschleifen, Sandstrahlen und chemisches Anätzen.

Tabelle 9.2.2 · Scherfestigkeiten

a) Untersuchungsergebnisse bei 22°C				
Klebstoffart	Wertebereich, N/mm ²		Durchschnittswerte, N/mm ²	
	unbehandelt	oberflächenbehandelt*	unbehandelt	oberflächenbehandelt*
2-Komp.-Epoxidharz	3,1 – 6,9	5,5 – 14,5	4,8	9,0
1-Komp.-Epoxidharz	4,1 – 9,0	5,5 – 9,7	6,2	10,7
Cyanacrylat	2,1 – 4,8	3,4 – 6,9	3,4	5,5
2-Komp.-Acrylat	1,7 – 5,5	3,4 – 5,5	3,1	4,8
b) Untersuchungsergebnisse bei 100°C				
Klebstoffart	Wertebereich, N/mm ²		Durchschnittswerte, N/mm ²	
	unbehandelt	oberflächenbehandelt*	unbehandelt	oberflächenbehandelt*
2-Komp.-Epoxidharz	1,0 – 2,1	1,0 – 2,8	1,4	2,1
1-Komp.-Epoxidharz	1,4 – 4,8	1,7 – 5,5	3,4	4,1
Cyanacrylat	2,1	2,1 – 3,4	2,1	2,8
2-Komp.-Acrylat	0,7 – 1,4	1,4 – 2,1	1,0	1,7
c) Untersuchungsergebnisse bei 150°C				
Klebstoffart	Wertebereich, N/mm ²		Durchschnittswerte, N/mm ²	
	unbehandelt	oberflächenbehandelt*	unbehandelt	oberflächenbehandelt*
2-Komp.-Epoxidharz	0,7 – 1,4	0,7 – 1,4	0,7	1,0
1-Komp.-Epoxidharz	0,7 – 2,1	0,7 – 2,1	1,4	1,4
Cyanacrylat	0,2 – 0,3	0,3 – 0,7	0,2	0,7
2-Komp.-Acrylat	0,3	0,7	0,3	0,7

* angeschliffen oder sandgestrahlt und lösungsmittelbehandelt

Die wichtigsten Voraussetzungen für eine optimale Klebeverbindung sind bei allen Kunststoffformteilen Sauberkeit der Klebeflächen, Auswahl und Qualität des Klebstoffs und die genaue Befolgung der Anweisungen des Klebstoffherstellers. Da es fast unmöglich ist Formtrennmittel vollständig von der Oberfläche eines Formteils zu entfernen, sollte auf den Einsatz solcher Mittel gänzlich verzichtet werden. Die für das Kleben vorgesehenen Flächen sollten nach dem Reinigen nicht mehr berührt werden, da mögliche Fettrückstände die Haftqualität beeinträchtigen können.

Einige Vectra-Typen zeigen eine größere Haftfestigkeit als andere. Grundsätzlich zeigen gefüllte oder verstärkte Vectra-Typen eine höhere Adhäsion als ungefüllte. Tabellen 9.2.2 a, b und c geben typische Scherfestigkeiten (ASTM D 3163) wieder, die bei Untersuchungen mit verschiedenen Klebstoffen bei 22°C, 100°C und 150°C gemessen wurden. Vor der Entscheidung für den Gebrauch eines Klebstoffs sollte der Verarbeiter sicherstellen, dass alle mechanischen, thermischen, elektrischen, chemischen und sonstigen Klebstoffeigenschaften ausreichend für die vorgesehene Anwendung sind.

Beachten Sie bitte, dass diese Angaben nur einen allgemeinen Überblick über verschiedene Klebstoffarten darstellen und nicht als spezielle Empfehlung zu verstehen sind. Tabelle 9.2.3 zeigt kommerzielle Beispiele für die in Tabelle 9.2.2 aufgeführten Klebstoffarten. Klebstoffe, welche die Normen und Anforderungen der FDA und der USP Klasse VI erfüllen sind in Tabelle 9.2.4 aufgeführt.

Die Haftung wird durch eine vorbereitende Oberflächenbehandlung verbessert. Zur Verbesserung der Haftfestigkeit zwischen Vectra und Epoxidharz- oder Urethanklebstoffen sind Gasplasmatechniken erfolgreich eingesetzt worden. Tabelle 9.2.5 zeigt die Wirksamkeit der Plasmabehandlung.

9.2.4 Verbindungselemente

9.2.4.1 Schrauben

Vectra kann für die Herstellung von Teilen verwendet werden, die mittels Schraubverbindungen zusammengesetzt werden. Zur Entwicklung der Gestaltung und

Tabelle 9.2.3 · Typische Klebstoffe für Vectra®

Vertrieb	Typ	Art	Trocknung	Temp.-Bereich (°C)
Lord Corporation	Fusor® 310	2-Komp.-Epoxidharz	15 min bei 105°C	-40 bis 205
3M Adhesives	Scotch-Weld® 1838 A/B	2-Komp.-Epoxidharz	30 min bei 95°C	-55 bis 175
Cole-Parmer Co.	5-Minuten-Epoxidharz	2-Komp.-Epoxidharz	1 h bei 20°C	-30 bis 95
3M Adhesives	Scotch-Weld® 2214 Hi-Temp	1-Komp.-Epoxidharz	10 min bei 150°C	-55 bis 175
3M Adhesives	Scotch-Weld® 2214 Hi-Temp, New Formula	1-Komp.-Epoxidharz	15 min bei 150°C	-55 bis 230
Epoxy Technology, Inc.	EPO-TEK® H35-175MP (elektr.leitend)	1-Komp.-Epoxidharz	1,5 h bei 175°C	-50 bis 160
Delo Industrie Klebstoffe	Monopox 6093	1-Komp.-Epoxidharz	1 h bei 100°C	-40 bis 240
	Duopox AD 895	2-Komp.-Epoxidharz	30 min bei 80°C	-40 bis 180
Permabond International	Permabond® 102 2)	1-Komp.- Zyanakrylat	30 s bei 23°C	-60 bis 80
Permabond International	610/612 2)	2-Komp.-Akrylat	25 s bei 23°C	-80 bis 150

¹⁾ REN ist ein eingetragenes Warenzeichen der REN Plastics Co.
²⁾ Permabond ist ein eingetragenes Warenzeichen der National Starch und Chemical Corp.

Tabelle 9.2.4 · Klebstoffe gemäß US-Zulassungsbestimmungen

Vertrieb	Typ	Art	Trocknung	Temp.-Bereich (°C)	Norm
Tra-Con	Tra-Bond FDA-8	2-Komp.-Epoxidharz	4 h bei 65°C	-51 bis 150	FDA*
Epoxy Technology	Epo-Tek 301	2-Komp.-Epoxidharz	1 h bei 65°C		USP Klasse VI
Loctite	Medical Adhesive 4013	Cyanacrylat	30 s bei 20°C	-40 bis 105	USP Klasse VI

* Erfüllt FDA Titel 21, US Code of Federal Regulations, Food und Drug Administration (FDA) Kapitel 1, Teil B, Abschnitte 175.105 und 175.300.

Tabelle 9.2.5 · Scherfestigkeiten nach Vorbehandlung

	Vectra A130		Vectra A625	
	Epoxy	Urethan	Epoxy	Urethan
Unbehandelt	7,2 MPa	0,9 MPa	6,5 MPa	1,3 MPa
Sauerstoffplasma	11,4 MPa	9,3 MPa	11,0 MPa	6,7 MPa
Ammoniakplasma	8,8 MPa	10,5 MPa	8,6 MPa	7,2 MPa

Tabelle 9.2.6 · Beispiel für Schraubdomabmessungen

Werkstoff	Schrauben-Typ (EJOT)	Schraubloch-durchmesser d ₀	Schreibdom-durchmesser D	Schraubtiefe t _e
Vectra A130	PT	0,84 x d	1,90 x d	1,80 x d
Vectra E130i	PT	0,86 x d	1,90 x d	1,80 x d
Vectra B230	PT	0,90 x d	2,00 x d	1,90 x d

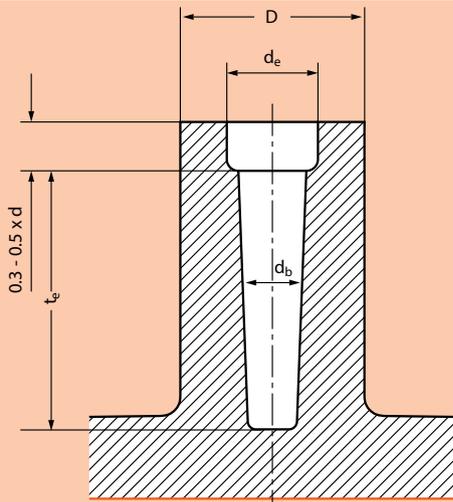
um das beste Verhältnis zwischen den Schrauben- und Schraublochabmessungen zu ermitteln, sind Versuchsreihen durchgeführt worden. Die Schraublochabmessungen müssen mit sehr engen Toleranzen gestaltet werden. Tabelle 9.2.6 gibt ein modellhaftes Beispiel für die Maße bei einer Schraube wieder.

Abbildung 9.2.7 zeigt die Skizze eines Schraubdoms. Gestaltungshinweise und Abmessungen werden in Tabelle 9.2.7 wiedergegeben.

9.2.4.2 Ultraschall-Inserts

Zur Ausrüstung von Thermoplasten mit Metallgewinden werden Messingeinsätze in die Formteile eingepresst. Die Einsätze werden mittels Ultraschall- oder Heizgeräten eingeformt, die zwischen dem Kunststoff und dem Insert Wärme erzeugen. Die Wärme weicht

Abbild. 9.2.7 ·
Schraubdom für EJOT PT® K Schraube



d = Nenndurchmesser der Schraube
 D = Schraubdomdurchmesser (2 x d)
 d_e = Entlastungsbohrung (d + 0,2 mm)
 t_s = Schraubtiefe
 d_b = Schraublochdurchmesser

den Kunststoff auf, sodass das Einpressteil nach dem Wiedererstarren sehr fest im Formteil verankert ist. Die Ultrasert II Einsätze der Firma Helicoil besitzen schräg abgestufte Rippen, die dem Kunststoff kontinuierlich neue Metalloberflächen zuführen, sodass während der Installation ein stetiger Erweichungs- und Wiederverfestigungsprozess stattfindet. Dadurch bildet sich im Bereich um den Einsatz eine homogene Polymerstruktur. Das Ultrasert II Gerät besitzt einen speziell gerändelten Flansch, der durch vollständige Rillenfüllung eine große Drehmomentfestigkeit sicherstellt. Tabelle 9.2.8 fasst die Leistungsfähigkeit dieser Einpressungen in Vectra-Formteile in drei wesentlichen Bereichen zusammen.

Tabelle 9.2.8 · Leistungsmerkmale
von Einpressteilen (Dodge Ultrasert II inserts*)

Gewindegröße	Teilnummer	Zugfestigkeit (N)	Drehmoment (Nm)	Ausreißfestigkeit (Nm)
#2-56	6035-02BR115	420,5	0,9	0,3
	6035-02BR188	987,9	1,1	0,4
#4-40	6035-04BR135	842,4	2,8	1,0
	6035-04BR219	1764,4	2,9	1,7
#6-32	6035-06BR150	1067,1	3,2	0,8
	6035-06BR250	2182,2	3,4	1,9
#8-32	6035-2BR185	1359,5	3,8	2,0
	6035-2BR312	2247,3	5,7	2,9
#10-32	6041-3BR225	1659,0	6,3	3,7

* Emhart Heli-Coil, Shelter Rock Lane, Danbury, CT 06810
 Tel.: ++1 (203) 743-7651, Fax: ++1 (203) 798-2540

Verarbeitungsbedingungen für Ultraschalleinsätze
(Branson Ultraschallschweißgerät, Typ 8700):

Gewindegröße	Verstärker	Schweißzeit (s)	Haltezeit (s)	Luftdruck (MPa)
#2	Black	0,4	0,5	0,10
#4	Black	0,5	0,5	0,10
#6	Black	0,6	0,5	0,14
#8	Black	0,6	0,5	0,14
#10	Black	0,7	1,0	0,14

Tabelle 9.2.7 · Ejot PT® K Schraubevon Einpressteilen (Dodge Ultrasert II inserts*)

	EJOT PT® K Gewindeformende-schraube	Nenndurchmesser der Schraube, d (mm)	Schraubloch durchmesser d _b (mm)	Eindringtiefe t _s (mm)	Drehmoment beim Eindrehen (Nm)	Drehmoment beim Ausdrehen (Nm)	Ausreißkraft (N)
Vectra A130	PT K 50 X 12	5	4,2	9,5	0,84	4,21	4170
	PT K 30 X 10	3	2,5	9,5	0,43	1,36	1640
Vectra E130i	PT K 50 X 12	5	4,4	9,5	0,54	2,38	2680
	PT K 30 X 10	3	2,5	6	0,37	1,09	1340
Vectra B230	PT K 50 X 12	5	4,4	9,5	0,79	2,6	3050
	PT K 30 X 10	3	2,7	6	0,4	1,09	

Vertriebsadressen

Europa

DELO Industrie Klebstoffe
GmbH & Co. KG
Ohmstraße 3
D-86899 Landsberg
Tel: ++49 8191 3204-0
Fax: ++49 8191 3204-144

Poly Tec GmbH
Poly-Tec-Platz 1-7
D-76337 Waldbronn
Deutschland
Tel: ++49-7243-6040
Fax: ++49-7243-69944

3M Deutschland GmbH
Carl-Schurz-Straße 1
41453 Neuss
Deutschland
Tel: ++49-2131-140

Huntsman
Klybeckstrasse 200
CH-4057 Basel
Tel.: ++41-61966 4120

Nordamerika

Huntsman Advanced Materials
10003 Woodloch Forest Drive
The Woodlands, Texas 77380
Tel: ++1 (888)-564-9318

Cole-Parmer Co.
7425 North Oak Park Avenue
Chicago, IL 60648 USA
Tel: ++1 (847) 549-7600
Fax: ++1 (847) 247-2983

Epoxy Technology, Inc.
14 Fortune Drive Billerica,
MA 01821 USA
Tel: ++1 (800) 227-2201
Fax: ++1 (508) 667-4446

IPN
151 Essex Street
Haverhill, MA 01832, USA
Tel. ++1 (508) 372-2016
Fax: ++1 (508) 374-6955

Emerson & Cumming
Polymers
55 Hayden Avenue
Lexington, MA 02173 USA
Tel: ++1 (800) 832-4929
Fax: ++1 (617) 861-9590

Henkel Corporation
1001 Trout brook Crossing
Rocky Hill, CT 06067, USA
Tel: ++1 (860) 571-5100
Fax: ++1 (860) 571-5465

9.3 Dekorieren

9.3.1 Bedrucken

Dass sich unbehandelte, frisch gespritzte Vectra-Formteile gut bedrucken lassen, ist sowohl mit 1- wie mit 2-Komponenten-Druckfarben erfolgreich gezeigt worden. Eine Oberflächenvorbehandlung durch Korona- oder Plasmaverfahren ist nicht unbedingt erforderlich. Die Hersteller von Druckfarben sind bei der Auswahl der geeigneten Farbstoffe für Ihren speziellen Anwendungsfall behilflich. In den meisten Fällen haben sie genug Erfahrung, um den Kunden während des gesamten Verfahrens zu begleiten. Wenn nötig können sie einzelne Farbstoffe modifizieren und sogar Testläufe an Formteilen durchführen.

Markem Corporation
150 Congress Street
Keene, New Hampshire 03431, USA
Tel.: ++1 (603) 352-1130
Fax: ++1 (603) 357 1835

Colorcon
A Division of Berwind Pharmaceutical
415 Moyer Boulevard
West Point, Pennsylvania 19486-0024, USA
Tel.: ++1 (215) 699-7733
Fax: ++1 (215) 661 2605

Tampoprint International Corp.
1400, 26th Street
Vero Beach, Florida 32960, USA
Tel.: ++1 (561) 772 8896
Fax. ++1 (561) 772 8289

Tampoprint AG
Lingwiesenstrasse 1
D-70825 Korntal-Münchingen
Deutschland
Tel.: ++49 (0) 7150-928-0
Fax: ++49 (0) 7150-928-400

9.3.2 Lackieren

Vectra-LCP kann auch lackiert werden, wobei feste Randbedingungen beachtet werden müssen. Da das Material chemikalienresistent ist, kann die Haftung von Lacken auf Vectra nur schwerlich durch chemisches Ätzen verbessert werden. Eine Vorbehandlung durch ein Grundierungsmittel ist daher empfehlenswert. Eine Untergrundbehandlung mit Ditzler, Artikel-Nr. DPX801, ist in Versuchen erfolgreich in diesem Sinne eingesetzt worden.

Ditzler/PPG Industries
One PPG Place
North Pittsburgh, Pennsylvania 15272, USA
Tel.: ++1 (412) 434-3131
Kundendienst: ++1 (888) 774-1010

Schramm Coatings GmbH
Kettelerstrasse 100
Postfach 10 17 63
D-63017 Offenbach/Main, Deutschland
Tel.: ++49 (0) 69 8603-0
Fax: ++49 (0) 69 8603-229

Berlac AG
Allmendweg 39
CH-4450 Sissach, Schweiz
Tel.: ++41 (61) 976 9010
Fax: ++41 (61) 976 9620

9.3.3 Laserbeschriftung

Berührungsloses Beschriften, Markieren und Kodieren durch Laserstrahlenergie ist auf Vectra-Oberflächen ebenfalls möglich. Zwei geeignete Laserbeschriftungsverfahren stehen zur Auswahl:

- Nd:YAG-Laser
- Excimer oder CO₂-Laser

Verfahrensbedingungen beim Beschriften:

Stromstärke	18 Ampere
Frequenz	5.000 Hz
Mindestschriftgröße	1 bis 2 mm

Nd:YAG-Laser bilden auf naturfarbenen Vectra-Oberflächen eine anthrazitfarbene und auf schwarzen Vectra-Oberflächen eine blass-graue Beschriftung.

9.4 Metallisieren und MID-Technik

9.4.1 Metallisieren von Vectra

In den letzten Jahren hat Vectra LCP vermehrt Anwendungsgebiete erschlossen, wo neben den charakteristischen Eigenschaften auch die Metallisierbarkeit gefragt ist.

Die Vectra 800er-Serie – zum Beispiel Vectra E820i – ist speziell für die Galvanik entwickelt worden. Diese Produkte können durch ein alkalisches Ätzverfahren mit einer mikrorauen Oberfläche versehen werden, damit die Metallschicht genügend Haftung entwickeln kann. Die Chemie für diese Verfahren kann über die Firmen ROHM and HAAS, ENTHONE oder ATOTECH bezogen werden.

Die Haftung der Metallbeschichtung hängt von den Spritzgieß-Parametern (Trocknung, Einspritzgeschwindigkeit, Zylindertemperatur und Werkzeugtemperatur), von dem Ätzverfahren sowie den Testverfahren ab. Wenn die hier gegebenen Empfehlungen befolgt werden, kann eine Haftkraft zwischen 0,9 und 1,5 N/mm² erreicht werden. Der Metallisierungsprozess ist im folgenden schematisch dargestellt.



Die chemisch aufgetragene Kupferschicht ist normalerweise 2 – 3 µm dick. Die einzelnen Verfahrensparameter werden durch die in verschiedenen Firmen entwickelten Anwendungen mitbestimmt. Nach dem Ätzen und der Verteilung des Kupfers über die gesamte Oberfläche beginnt die elektrolytische Kupferbeschichtung bis die gewünschte Beschichtungsstärke erreicht ist (ca. 20 – 30 µm). Dann wird eine Sperrschicht aus Nickel hinzugefügt und die Oberfläche Zinn/Blei oder mit Gold endbehandelt. Vectra E820i ist für das beschriebene Metallisierverfahren geeignet. Bei Vectra E820i Pd kann wegen dessen spezieller Ausrüstung auf eine Oberflächenaktivierung verzichtet werden. Dieser Vorteil prädestiniert diesen Spezialtyp für die Herstellung von 3D-MID-Bauteilen (siehe MID).

Beim Sputtern wird das für die Beschichtung vorgesehene Metall einem Ionenbeschuss ausgesetzt, um ein umgebendes Vakuum mit ionisierten Atomen anzureichern. Die Atome treiben entlang des Spannungsgefälles vom Ursprungsmetall zum Kunststoffteil, wo sie sich auf der Oberfläche ablagern. Die Dicke dieser Schicht ist direkt von der Sputterzeit abhängig. In der Praxis werden Dicken von bis zu 5 µm mit Vectra erreicht.

Beim Aluminiumbedampfen werden Formteile und kleine Alublöcke in einer Vakuumkammer verteilt. Bei extrem hohen Temperaturen beginnt nun das Aluminium zu verdampfen. Die hierbei entstehende Wolke schlägt sich auf die Teiloberflächen nieder. Die Methode

wird mit Vectra u. a. zur Herstellung von Abschirmelementen und Reflektoren angewandt.

Einige Adressen von Firmen, die Erfahrung mit dem Metallisieren von Vectra-Formteilen besitzen, seien hier genannt:

In Europa:

MID-Solutions.
Bahnhofstraße 3B
D-37534 Gittelde/Harz
Deutschland
Tel.: +49 (0) 5327- 8593 35
Fax: +49 (0) 5327- 8593 72

3D-MID-Kompetenzzentrum
Cicorel SA
Route de l'Europe 8
CH-2017 Boudry
Schweiz
Tel.: +41 (0) 32 843 05 06

Lüberg Elektronik GmbH & Co. KG
Hans-Striegel-Straße 3
D-92637 Weiden
Deutschland
Tel.: +49 (0) 961-38159-30
Fax: +49 (0) 961-62109

Collini AG
Rinstrasse 9
CH-8600 Dübendorf
Schweiz
Tel.: +41 (0) 44 824 11 23
Fax: +41 (0) 44 824 11 12

Harting AG
Leugenestraße 10
CH-2500 Biel
Schweiz
Tel.: +41 (0) 32 34421 26

AHC – Oberflächentechnik GmbH
Coswiger Straße 16
D-12681 Berlin
Deutschland
Tel.: +49 (0) 30-549904-0
Fax: +49 (0) 30-549904-20

HSG-IMAT
Allmandring 9B
D-70569 Stuttgart
Deutschland
Tel.: +49 (0) 711 685-83 717

Molded Circuits LTD
1142 Melton Road,
Syston Leicester LE7 2HA
Großbritannien
Tel.: +44 (0) 116- 260 9841
Fax: +44 (0) 116-269 8392

In den USA:

Molded Interconnect Devices LLC
250 Metro Park
Rochester, NY 14623, USA
Tel.: +1 (716) 272-3100

Circuit-Wise
400 Sackett Point Road
North Haven, CT 06473, USA
Tel.: +1 (203) 281-6511

Cybershield of Texas
308 Ellen Trout
Lufkin, TX 75904
Tel.: +1 (936) 633-6387

Metal Surfaces
6060 Shull Street
Bell Gardens, CA 90201, USA
Tel.: +1 (310) 517-9285
Fax: +1 (310) 517-9265

Crown City Platers
4350 Temple City Blvd.
El Monte, CA 91731, USA
Tel.: +1 (626) 444-9291

Providence Metallizing Company, Inc.
51 Fairlawn Avenue
Pawtucket, RI 02860-2591, USA
Tel: +1 (401) 722-5300
Fax: +1 (401) 724-3410

9.4.2 MID

Die Fertigung von dreidimensionalen Leiterplatten, die sogenannte MID-Technologie (MID = Molded Interconnect Device), ist eine der wichtigsten Anwendungsgebiete für die Metallisierung von Vectra. Mit Hilfe der MID-Technologie ist es möglich, 3D-Leiterbahnstrukturen durch den Einsatz von Spritzgießverfahren mit großer Gestaltungsfreiheit herzustellen. Die spezielle Eigenschaftskombination von Vectra-LCP bietet gute Voraussetzungen für die Fertigung von spritzgegossenen Schaltungsträgern. Die folgenden Verfahren werden erfolgreich zur Herstellung von MID Bauteilen eingesetzt:

Das PCK-Verfahren (2-K Spritzgießen):

Zuerst wird ein Vorspritzling aus dem metallisierbaren, katalytisch modifizierten Vectra Typ E820i Pd hergestellt. Anschließend wird dieser erste Schuss mit einem nicht-metallisierbaren Vectra Typ (z.B. E130i) umspritzt. Das Bauteil wird dann angeätzt und die Formteilerfläche selektiv metallisiert. Mit der 2-Schuß-Technik können mit Vectra-LCP Wandstärken von 0,25 mm für die Leiterbahnbreite und -abstand realisiert werden. Aufgrund der Miniaturisierung von Bauteilen, höherer Integrationsdichte von Funktionsteilen, bei verminderter Teilezahl und hohem Automatisierungsgrad können große wirtschaftliche Einsparungen erzielt werden.

LPKF-LDS®-Verfahren:

Die Energie eines Laserstrahls kann ebenfalls zur Herstellung von dreidimensionalen Schaltungsträgern eingesetzt werden. Hierbei wird das Bauteil komplett aus dem speziellen laserdirektstrukturierbarem Vectra LCP Typ E840i LDS gespritzt. Anschließend wird das Bauteil mit einem Laser an den Stellen strukturiert (aktiviert) wo später die Leiterbahnen entstehen sollen. Zum Schluss wird das Formteil selektiv metallisiert. Der Vorteil dieses Verfahrens ist die große Flexibilität in der Fertigung. Wenn das Layout der Leiterbahn geändert werden soll, wird lediglich der Laser umprogrammiert. Hierbei handelt es sich um einen patentrechtlich geschützten Prozess der Firma LPKF (www.lpkf.de). Mit dieser Technik können Leiterbahnbreiten von 0,15 mm und Abstände von 0,2 mm realisiert werden.

9.5 Spanende Bearbeitung

Normalerweise ist es das Ziel eines Spritzgießverfahrens, ein Formteil so herzustellen, dass es, wie es ist, verwendet werden kann. Es gibt Ausnahmefälle, in denen eine maschinelle Nachbearbeitung notwendig sein kann. Die Eigenschaften von Formteilen aus Vectra sind zum großen Teil von der molekularen Orientierung geprägt, die durch die Angussgestaltung, die Werkzeugauslegung und die Spritzgießbedingungen bestimmt wird. Bei der Herstellung von Probekörpern für Testzwecke mittels spanender Verfahren ist besondere Sorgfalt geboten. Ein Probekörper wird naturgemäß nicht immer die gleiche Orientierungsstruktur aufweisen wie das fertige Formteil, was zu Unterschieden bei den mechanischen, elektrischen oder anderen Eigenschaften führen kann. Probekörper sollten daher möglichst im Spritzgießverfahren geformt und nicht aus Blöcken herausgefräst werden. Die Eigenschaften der Oberflächenschicht unterscheiden sich bei Vectra, stark von denen des Kerns. In Fällen, wo eine Herstellung durch spanende Bearbeitung die einzige Möglichkeit ist, sollte so wenig wie möglich Oberflächenmaterial entfernt werden. Jeder Eingriff in die Oberfläche zerstört den sandwichartigen Aufbau und schwächt damit das Bauteil entscheidend. Wenn das Formteil-Layout eingeformte Löcher vorsieht, macht das Bohren solcher Löcher bei der Herstellung des Probekörpers eine Beurteilung der Auswirkungen von Fließnähten im Endprodukt zu nichte.

Es gibt Ausnahmefälle, in denen eine maschinelle Nachbearbeitung notwendig sein kann. Gründe dafür können etwa darin liegen, dass auf allzu komplizierte Formen verzichtet werden soll oder Fließnähte an kritischen Stellen vermieden werden sollen. Die folgenden praktischen Grundregeln sollten bei der Bearbeitung beachtet werden.

- Setzen Sie scharfe Werkzeuge ein
- Sorgen Sie für ausreichende Kühlung
- Gewährleisten Sie eine gute Spanabfuhr
- Spannen Sie das Werkstück fest ein und stützen Sie es gut ab

Verglichen mit anderen Thermoplasten verleihen die Steifigkeit, die hohe Wärmeleitfähigkeit und der niedrige Reibungskoeffizient von Vectra gute Voraussetzungen für eine spanende Bearbeitung. Da Vectra ein Thermo-

plast ist, beginnt es allerdings zu schmelzen, wenn das Bearbeitungsverfahren zu viel Reibungswärme erzeugt.

9.5.1 Werkzeuge

Stumpfe Werkzeuge schaben mehr als dass sie schneiden. Sie führen daher zu einer schlechten Oberflächenqualität und erzeugen exzessive Reibungswärme. Die besten Oberflächenqualitäten werden mit scharfen Werkzeugen und hohen Geschwindigkeiten bei langsamem Vorschub erreicht. Sowohl die Maschinen wie die Vorschubgeschwindigkeit sollten gleichmäßig und unterbrechungsfrei sein. Durch Kühlen kann die Schnittgeschwindigkeit erhöht werden. Vectra ist beständig gegen alle gängigen Schneidkühlmittel.

Neben einer guten Werkzeugschärfe ist für ausreichende Spanabfuhr zu sorgen. Wenn der Bearbeiter die Möglichkeit hat zwischen verschiedenen Maschinen zu wählen, sollte er die mit dem größten Spanraum einsetzen, also etwa einen Bohrer mit breiter Spannute oder Sägeblätter mit tiefen Zahnspalten. Anders als manche Kunststoffe, die verschleißende Füllstoffe wie Mineralien, Glas-, oder Kohlefasern enthalten, lässt sich Vectra mit gewöhnlichen Hochgeschwindigkeitswerkzeugen aus Edelstahl bearbeiten. Der Gebrauch von Hartmetallwerkzeugen erhöht die Standzeiten bei Dauerbetrieb.

9.5.2 Drehen

Vectra lässt sich gut auf einer Drehbank bearbeiten. Die Werkzeug-Bits sollten scharf sein und einen Spanwinkel von 5 bis 15° gewährleisten, bei vorderen und seitlichen Freiwinkeln zwischen 0 und 15°. Eine Werkzeugspitze mit einem Radius von mindestens 1,5 mm sollte benutzt werden, um eine glattgeschnittene Oberfläche zu erhalten. Die Vorschub- und Schnittgeschwindigkeiten hängen beim Drehen hauptsächlich von der Art des Schnitts und der Art der gewünschten Oberfläche ab. Für die meisten Verfahren ist eine Umfangsgeschwindigkeit von ca. 0,3 m/s sinnvoll. Um einen glatten Schnitt zu erzielen, ist eine etwas höhere Drehgeschwindigkeit und eine niedrigere Vorschubgeschwindigkeit notwendig. Als Richtschnur: Ein Stab mit einem Durchmesser von 12mm Durchmesser, gedreht mit einem Werkzeugspitzenradius von 1,5 mm bei 100 U/min und einer Vorschubrate von 0,04 mm pro Umdrehung, ergibt eine gute Oberflächenqualität.

Werkzeuggeschwindigkeiten beim Bohren und Fräsen(Dodge Ultrasert II inserts*)		
Werkzeugdurchmesser (mm)	Werkzeuggeschwindigkeit (U/min)	
	Ungefüllte Typen	Verstärkte Typen
1,6	2.300	2.000
3,2	2.000	1.700
5,6	1.800	1.500
6,4	1.600	1.300
9,5	1.300	1.000
15,9	1.000	800

9.5.3 Fräsen und Bohren

Normale Spiralfräser sind für die Bearbeitung von Vectra geeignet. Wegen des größeren Spanabfuhrvolumens sind Fräsmaschinen mit Doppel-Spannut vorzuziehen. Bei den in Tabelle 9.5.1 vorgeschlagenen Werkzeuggeschwindigkeiten kann bei der Bearbeitung von Vectra auf Kühlmittel verzichtet werden. Die Vorschubrate sollte entsprechend der gewünschten Oberflächenbeschaffenheit eingestellt werden.

Zum Bohren eignen sich herkömmliche Hochgeschwindigkeitsbohrer am besten. Gelegentlich kann es zur Gratbildung kommen. Dies kann dadurch verhindert werden, indem oberhalb und unterhalb des Werkstücks Kunststoff-Sperrstücke eingeklemmt werden. Das Werkstück sollte in jedem Fall fest eingespannt und gut abgestützt sein. Beim Bohren von tiefen Löchern sollte der Bohrer häufig hochgehoben werden (nach jeweils etwa 6 mm Bohrtiefe), um Loch und Bohrer von Spänen zu befreien. Ein Druckluftstrahl unterstützt die Spanabfuhr und kühlt den Bohrer.

9.5.4 Gewindeschneiden

Gewinde lassen sich unter Beachtung der oben angegebenen Werkzeug- und Verfahrensbedingungen auf einer Drehbank schneiden. Herkömmliche Gewindebohrer und Prägestempel lassen sich mit gutem Ergebnis einsetzen. Das Gewindeschneiden ist maschinell wie von Hand möglich. Für Gewinde zwischen M6/1,00 und M10/1,50 wird eine Drehzahl von 180 U/min vorgeschlagen. Es gibt Spezialgewindeschneider für Kunststoff mit zwei Spannuten, die einige Vorteile bei der Spanabfuhr bieten. Aber sie sind für das Erreichen von zufrieden stellenden Ergebnissen nicht unbedingt erforderlich.

9.5.5 Sägen

Vectra lässt sich mit fast jeder Art von Säge bearbeiten. Um ein Festsetzen des Sägeblatts zu verhindern, sollten die Sägezähne allerdings eine gewisse Schränkung besitzen, mindestens 0,125 mm je Seite. Eine grobe Zahnteilung und tiefe Zahnlücken für die Spanabfuhr sind für schnelleres Sägen wünschenswert, während feinere Sägeblätter eine glattere Schnittkante ergeben. Normalerweise sollten zu jedem Zeitpunkt mindestens zwei Sägezähne das Werkstück berühren. Mit der Bandsäge lassen sich ohne Kühlung saubere Schnitte erzielen, wenn ein Teil mit einer Dicke von unter 6 mm mit einer Blattgeschwindigkeit von ca. 17 m/s zersägt wird.

10. Umrechnungstabellen

10.1 Umrechnungsfaktoren für verschiedene Einheiten

	← Multiplizieren mit	→
	Teilen durch	
Länge		
Meter (m)	$2,54 \times 10^{-2}$	Inch (in)
Meter (m)	$3,05 \times 10^{-1}$	Foot (ft)
Fläche		
Quadratmeter (m ²)	$6,45 \times 10^{-4}$	Square inch (in ²)
Quadratmeter (m ²)	$9,29 \times 10^{-2}$	Square feet (ft ²)
Volumen		
Kubikmeter (m ³)	$1,64 \times 10^{-5}$	Cubic inch (in ³)
Kubikmeter (m ³)	$2,83 \times 10^{-2}$	Cubic feet (ft ³)
Masse		
Kilogramm (kg)	$4,54 \times 10^{-1}$	Pound (lb)
Kraft		
Newton (N)	4,45	Pound-Force (lbf)
Newton (N)	9,81	Kilogramm-Force (kgf)
Druck		
Pascal (Pa)	=	Newton/Meter ² (N/m ²)
Pascal (Pa)	$6,985 \times 10^{-3}$	lbf/in ² (psi)
Mega Pascal (MPa)	$6,985 \times 10^{-3}$	lbf/in ² (psi)
Pascal (Pa)	$9,807 \times 10^{-4}$	kgf/cm ²
Pascal (Pa)	10^5	Bar
Viskosität		
Pascal.Sek. (Pa · s)	0,1	Poise
Energie		
Joule (J)	4,19	Kalorie (cal)
Kilojoule/Kilogramm (kJ/kg)	4,19	Kalorien/Gramm (cal/g)
Joule/Kilogramm (J/kg)	$2,33 \times 10^3$	BTU/lb
Technische Textilien		
Fadengröße		
tex	9	Denier
dtex	10^{-1}	mg/m
Zähigkeit		
cN/tex	$1,132 \times 10^{-1}$	gf/Denier

Inches (Zoll)	Inches (Zoll)	Mils	cm	mm
1	1	1000	2,54	25,4
1/2	0,5	500	1,27	12,7
1/4	0,25	250	0,64	6,4
1/8	0,125	125	0,32	3,2
1/16	0,0625	62,5	0,16	1,6
1/32	0,0313	31,3	0,08	0,8
1/64	0,0156	15,6	0,04	0,4

Grad Celsius (°C)	Grad Fahrenheit (°F)
0	32
10	50
20	68
50	122
75	167
100	212
125	257
150	302
175	347
200	392
225	437
250	482
275	527
300	572
325	617
350	662
375	707
400	752

Umrechnungsfaktor °F = 1,8 · °C + 32

Festigkeit		Modul	
MPa	psi	MPa	psi x 10 ⁶
75	10.877	6.000	0,87
100	14.504	8.000	1,16
125	18.130	10.000	1,45
150	21.756	12.000	1,74
175	25.382	14.000	2,03
200	29.008	16.000	2,32
225	32.634	18.000	2,61
250	36.259	20.000	2,90
275	39.885	22.000	3,19
300	43.511	24.000	3,48

11. Stichwortverzeichnis

- Abstellen der Maschine 39
- Angüsse/ Anschnitte 61–63
- Anisotropie 16, 50, 55, 56
- Ausdehnungskoeffizient 23, 24
- Anfahr- & Abstellprozesse 38
- Ausgasung 26
- Auswerferkralle 64

- Barriere 36
- Bedrucken 71–72
- BfR/BgVV-Zulassungen 30
- Biege-E-Modul 16, 17, 37
- Biegefestigkeit 16, 17, 37
- Biege-Kriechmodul 19
- Bindenähte 49, 57, 61, 63
- Bohren 75–76

- Chemikalienbeständigkeit 34–36

- Dämpfung 21–22
- Dekorieren 71–72
- Design 56–64
- Dielektrischer Verlustfaktor 28, 29
- Dielektrizitätszahl 29
- DMA 21–22
- Drehen 75
- Drug Master File 32
- Düse 43–44, 48, 50–52
- Durchlässigkeit für Gase und Dämpfe 36–37
- Dauerschwingfestigkeit 20

- Eigenschaften, elektrische 27–28
- Eigenschaften, mechanische 16–21
- Eigenschaften, physikalische 15–32
- Eigenschaften, thermische 21–26
- Einfärbung 14
- Entformungsschragen 56
- Enthalpie 26
- Entlüftung (Werkzeuge) 47, 48, 63
- Extrusion 50–54

- Farbkonzentrate 14
- FDA-Zulassungen 31–32
- Fehlerkatalog, Spritzgießen 46–49
- Fehlerkatalog, Extrusion 53–54
- Flammeneinwirkung 27
- Fließnähte 49, 57–58, 61, 63
- Fließverhalten 56, 61

- Fließweglängen 55, 56
- Formteilgestaltung 55–58
- Fügen von Formteilen 65–68
- Füllstoff-/ Faserkombinationen 12
- Fräsen 75

- Gasdurchlässigkeit 36
- Gratbildung 47

- Härte 21
- Heißkanalsysteme 42–43, 60
- Hydrolysebeständigkeit 33

- Inserts 69–70

- Kerbschlagzähigkeit 19, 45, 46
- Kleben 67, 68

- Lackieren 72
- Laserstrahl, Beschriften mit 72
- Leitfähigkeit, elektrische 27–28
- Lichtbogenfestigkeit 29
- Lieferform 14
- Listungen 27–29
- Lötbeständigkeit 24

- Massetemperaturen 43
- Masterbatch 14
- Mechanische Eigenschaften 16–21
- Metallisieren 72–74
- MID 74

- Nachdruck 44
- Normen 30–32

- Oberflächeneigenschaften 60

- Physikalische Eigenschaften 15–32

- Rauchgasdichte 27
- Regeneratzusatz 45–46
- Reibung 20
- Reißdehnung 15, 37
- Reißfestigkeit 19
- Restfeuchte 40
- Rheologie 56
- Rockwell Härte 21
- Rückstromsperre 41

- Sägen 76
- Sauerstoffindex, LOI 27
- Scherfestigkeiten 68–69
- Schlagbeanspruchung 19
- Schlagzähigkeit 19
- Schlieren 49
- Schmelzpunkt 9, 25, 50, 51
- Schnappverbindungen 58
- Schneckendekompression 44, 46, 49
- Schneckendrehzahl 44
- Schrauben 68–69
- Schweißen 65–67
- Schwindung 56
- Schwingende Beanspruchung 19
- Selbstentzündungstemperatur 27
- Sicherheitsdatenblätter 38
- Sicherheitsempfehlungen 38
- Spanendes Bearbeiten 74
- Spannungs-Dehnungsverhalten 18
- Spezifische Wärme 25
- Spritzgießen 41–49
- Staudruck 44
- Strahlenbeständigkeit 36
- Sortiment 12, 13

- Tempern 65
- Thermische Eigenschaften 21–26
- Tribologisches Verhalten 20
- Trocknungsbedingungen 40
- Tunnelguss 61–63
- Typenübersicht 12–13

- UL-Listungen 27–29, 32
- Ultraschallschweißen 65–66
- UV- und Witterungsbeständigkeit 36

- Verarbeitung 38–40, 43, 51
- Verbrennungsprodukte 27
- Verlustfaktor, dielektrisch 28, 29
- Verschleiß 20, 59–60
- Verzug 49, 56

- Wärmeausdehnungskoeffizient 23, 24
- Wärmefreisetzung 27
- Wärmeformbeständigkeit 23
- Wärmeleitfähigkeit 26
- Wasseraufnahme 39
- Werkzeugauslegung 58
- Werkzeugtemperaturen 43
- Wöhler-Kurven 20

- Zeitstandfestigkeit 19, 22
- Zug-E-Modul 16–18, 21, 33, 37, 50
- Zugfestigkeit 16–17, 19, 33, 37, 51
- Zug-Kriechmodul 19
- Zulassungen 30–32
- Zykluszeit 44
- Zylindertemperaturen 38

ENGINEERED MATERIALS

celanese.com/engineered-materials

Engineered Materials

- Celanex®
Thermoplastisches Polyester (PBT)
- Hostaform® und Celcon®
Acetal-Copolymer (POM)
- Celstran®, Compel® und Factor®
Langfaserverstärkte Thermoplaste (LFRT)
- Celstran®
Endlosfaserverstärkt mit
thermoplastischer Matrix (CFR-TP)
- Fortron® Teilkristallines
Hochtemperaturpolymer (PPS)
- GUR®
Ultrahochmolekulares Polyethylen (UHMW-PE)
- Impet®
Thermoplastische Polyesterharze (PET)
- Riteex®
Thermoplastische Polyesterelastomere (TPC-ET)
- Thermx®
Polycyclohexylendimethylterephthalat (PCT)
- Vandar®
Thermoplastische Polyester-Blends (PBT)
- Vectra® and Zenite®
Flüssigkristalline Polymere (LCP)

Kontakt Information

Europa

Am Unisys-Park 1, 65843 Sulzbach, Germany

Product Information Service

t: +(00)-800-86427-531 t: +49-(0)-69-45009-1011

e: info-engineeredmaterials-eu@celanese.com

Amerika

8040 Dixie Highway, Florence, KY 41042 USA

Product Information Service

t: +1-800-833-4882 t: +1-859-372-3244

Customer Service

t: +1-800-526-4960 t: +1-859-372-3214

e: info-engineeredmaterials-am@celanese.com

Asien

4560 Jinke Road, Zhang Jiang Hi Tech Park
Shanghai 201203 PRC

Customer Service

t: +86 21 3861 9266 f: +86 21 3861 9599

e: info-engineeredmaterials-asia@celanese.com