

PolCycleTime - Kühl- und Zykluszeitberechnung, Preis- und Bedarfskalkulationen, Konditionierzeit- Berechnung

Inhaltsverzeichnis

Inhalt	3
Kühl- und Zykluszeitberechnung.....	3
Schnelleinstieg.....	3
Bedienung	5
Eingaben / Entscheidungen	6
Formmasse / Zusatzstoffe	7
Fließfähigkeit / Steifigkeit und Härte	8
Formteilqualität	8
Fließwiderstand und Massetemperatur	9
Werkzeugtemperierung und Zusatzkühlung	10
Entformungsbedingungen	10
Fertigungsgenauigkeit + Formteilverzug.....	10
Zykluszeit.....	11
Geometrien hinzufügen/bearbeiten	11
Hinweise	13
Abhängigkeitsdiagramme anzeigen	14
Projektverwaltung	15
Eigene Werkstoffdaten	16
FAQ's	17
typische Spritzgießfehler.....	21
Preis- und Bedarfskalkulation	23
Konditionierzeit-Berechnung	23
Schnelleinstieg.....	23
Einleitung	24
Berechnungskonzept	25
Bedienung	25
Projektverwaltung	25
Projekt bearbeiten	25
Verwaltung Werkstoffdaten	26
Berechnungs-Module	27
Verweilzeit-Berechnung	27
Schmelze-Dichte-Berechnung.....	28

Inhalt

- [Kühl- und Zykluszeitberechnung](#)
- [Preis- und Bedarfskalkulation](#)
- [Konditionierzeit-Berechnung](#)
- [Berechnungs-Module](#)

Kühl- und Zykluszeitberechnung

Programmgegenstand ist die rechnerische Abschätzung der Kühl- und Zykluszeit für den Standardspritzguss von nichtporösen Thermoplasten und thermoplastischen Elastomeren.

Für spezielle Verfahrensvarianten des Spritzgießens ist eine sinngemäße Anwendung möglich, wobei die Genauigkeit u.U. etwas eingeschränkt ist.

Typische Anwendungsbeispiele sind u.a.:

- Maschinenvoreinstellung
- Kostenvorkalkulation
- Fertigungsdurchlaufplanung
- Wärmebilanzen
- Vorgabedaten zur Prozess-Simulation

Für die Zykluszeitminimierung ist meist eine systematische Optimierung unter realen Produktionsbedingungen zu empfehlen. Benutzereingaben werden durch Hinweise unterstützt, die als Hilfen oder Orientierungsbereiche verfügbar sind.

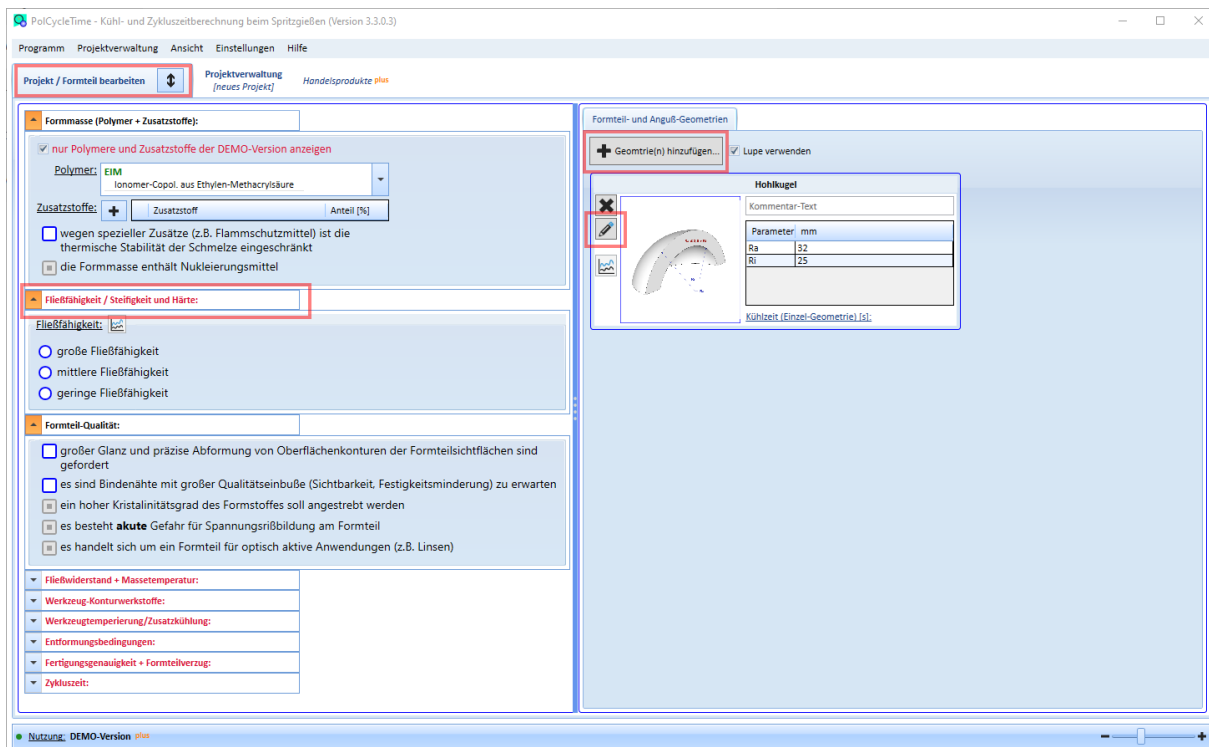
Da Zykluszeitgliederungen in der Praxis unterschiedlich gehandhabt werden, sollen nachstehend die programminterne Kühlzeit und die Zykluszeit definiert werden.

- Kühlzeit: Zeitanteil von Beginn der Werkzeugfüllung bis zur Entformung des Spritzlings, also die physikalisch wirksame Gesamtzeit der Formmassekühlung im Werkzeug.
- Zykluszeit: Kühlzeit zuzüglich Entformungszeit des Spritzlings und Trockenlaufzeit (Totlaufzeit) der Maschine.

Die Berechnung der Kühlzeit beruht auf analytische Lösungen der instationären Wärmeübertragung, die bezüglich der konkreten Bedingungen erheblich erweitert und modifiziert wurden.

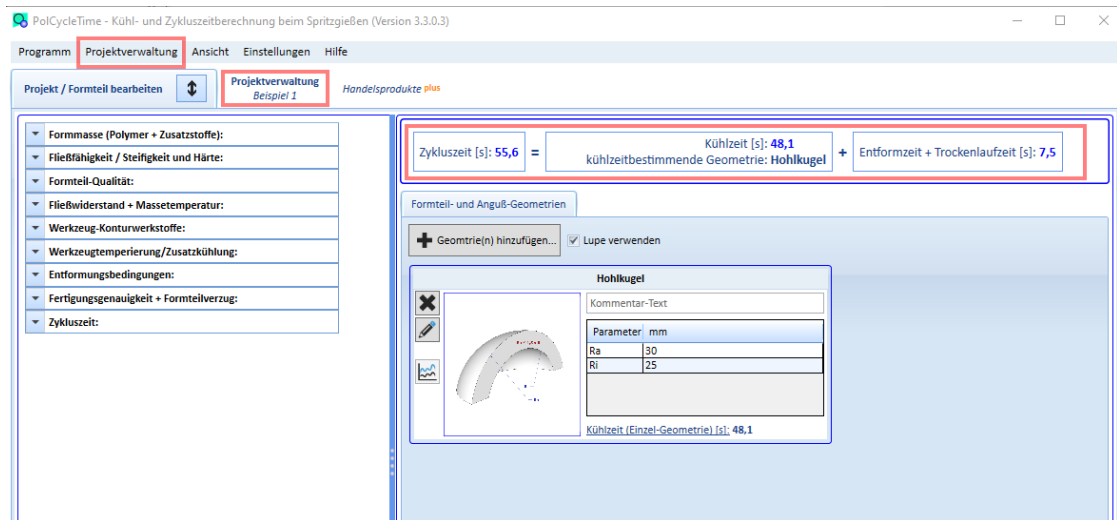
Schnelleinstieg

Die Ansicht zum Bearbeiten eines Projektes ...



Der nachfolgende Ablauf ist nur ein Vorschlag. Die Reihenfolge Ihrer Eingaben/Entscheidungen spielt nur eine untergeordnete Rolle. Ergebnisse werden sofort angezeigt bzw. aktualisiert, wenn alle erforderlichen Eingaben und Entscheidungen vorliegen.

1. Erfassen Sie alle Ihre Eingaben und Entscheidungen, die die Kühl- und Zykluszeit beeinflussen. Die Eingaben und Entscheidungen sind in einzelnen Gruppen zusammengefasst. Die Überschrift der Gruppe ist **rot**, wenn noch Angaben innerhalb der Gruppe fehlen.
2. Fügen Sie die relevanten Formteil- und Angußgeometrien hinzu (im rechten Teil der Ansicht)
 - a) Wechseln Sie in das Register "*Formteil- und Anguß-Geometrien*"
 - b) Klicken Sie auf den Schalter [Geometrie(n) hinzufügen]. Es wird ein weiteres Fenster geöffnet.
 - c) Wählen Sie die Geometrie(n) jeweils mit einem Doppelklick aus. Die ausgewählte Geometrie wird im Hintergrund in die entsprechende Liste übernommen.
 - d) Schließen Sie das Geometrie-Auswahl-Fenster
3. Bearbeiten Sie die Geometriedaten.
 - a) Klicken Sie dazu auf den Schalter mit dem Stift-Symbol (links neben der entsprechenden Geometrie). Es wird ein weiteres Fenster geöffnet.
 - b) Tragen Sie die Geometriedaten ein und bestätigen Sie Ihre Eingaben mit der [Enter]-Taste.
 - c) Das Fenster wird darauf hin geschlossen.
4. Soweit alle Eingaben vorliegen, werden die Ergebnisse (rechts oben) angezeigt. Sie können nun ggf. Ihre Eingaben und Entscheidungen nachträglich korrigieren bzw. präzisieren.



5. Wechseln Sie zum Schluss in das Register "**Projektverwaltung**" und Speichern Sie Ihre Eingaben und Entscheidungen als Projektdatei ab. Wir empfehlen Ihnen pro Formteil bzw. Formteil-Werkzeug-Maschinen-Kombination eine entsprechende Projektdatei anzulegen.

Alle Projektinformationen werden in einer Druckvorschau angezeigt und können ausgedruckt werden (Menü bzw. Register "**Projektverwaltung**").

Bedienung

Wir empfehlen Ihnen pro Formteil ein entsprechendes Projekt zu erstellen.

Sie können alle Ihre Eingaben/Entscheidungen als Datei abspeichern und ausdrucken.

Weitere Informationen zur Projektverwaltung finden Sie [hier](#).

Eingaben / Entscheidungen

PolCycleTime - Kühl- und Zykluszeitberechnung beim Spritzgießen (Version 3.3.0.3)

Programm Projektverwaltung Ansicht Einstellungen Hilfe

Projekt / Formteil bearbeiten  Projektverwaltung [neues Projekt] Handelsprodukte plus

▼ Formmasse (Polymer + Zusatzstoffe):

▲ Fließfähigkeit / Steifigkeit und Härte:

Fließfähigkeit: 

☐ große Fließfähigkeit

☒ mittlere Fließfähigkeit

☐ geringe Fließfähigkeit

▲ Formteil-Qualität:

☒ großer Glanz und präzise Abformung von Oberflächenkonturen der Formteilsichtflächen sind gefordert

☒ es sind Bindenähte mit großer Qualitätseinbuße (Sichtbarkeit, Festigkeitsminderung) zu erwarten

☐ ein hoher Kristallinitätsgrad des Formstoffes soll angestrebt werden

☐ es besteht **akute** Gefahr für Spannungsrißbildung am Formteil

☐ es handelt sich um ein Formteil für optisch aktive Anwendungen (z.B. Linsen)

▲ Fließwiderstand + Massetemperatur:

Fließwiderstand der Werkzeugkonturen: 

☐ geringer Fließwiderstand

☒ mittlerer Fließwiderstand

☐ hoher Fließwiderstand

Massetemperatur [°C]: 

empfohlen:

Min/Max:

Eingabe:

▼ Werkzeug-Konturwerkstoffe:

▼ Werkzeugtemperierung/Zusatzkühlung:

- Die erforderlichen Eingaben/Entscheidungen sind logisch gruppiert.
- wir empfehlen Ihnen, die Eingaben von oben nach unten entsprechend zu bearbeiten, weil Informationen zu nachfolgenden Eingaben z.T. auf vorhergehenden Eingaben/Entscheidungen aufbauen.
- Jede Gruppe hat eine entsprechende Überschrift. Diese Überschrift erscheint in **roter Schriftfarbe**, wenn innerhalb der Gruppe noch Eingaben fehlen bzw. fehlerhaft sind. Sobald alle Eingaben innerhalb der Gruppe vollständig sind, erscheint die Überschrift in **schwarzer Schriftfarbe**.
- Sie können die Gruppen einzeln auf- und zuklappen. Wenn Sie alle Details der Gruppen ein- oder ausblenden wollen, dann klicken Sie auf dem Schalter mit dem Doppelpfeil im Register "Projekt/Formteil bearbeiten"

Nachfolgend werden die fachlichen Details sowie die Bedienung zu den einzelnen Eingaben/Gruppen beschrieben.

[Formmasse / Zusatzstoffe](#)

[Fließfähigkeit / Steifigkeit und Härte](#)

[Formteilqualität](#)

[Fließwiderstand und Massetemperatur](#)

[Werkzeugtemperierung und Zusatzkühlung](#)

[Entformungsbedingungen](#)

[Fertigungsgenauigkeit](#)

[Zykluszeit](#)

Formmasse / Zusatzstoffe

- Die Kennzeichnung der Polymere ohne Zusatzstoffe und der Zusatzstoffe erfolgt mit Kurzzeichen und Benennung nach EN ISO 1043 (1997), DIN EN ISO 18064 (2005) und ISO 1874 (1992). Dichtebereiche der Polymere (bei 23 °C) dienen als weitere Hilfe für die Zuordnung, wobei aber keine Flammschutzmittelzusätze berücksichtigt wurden. In einigen Fällen werden zur Typabgrenzung charakteristische Eigenschaften (z.B. Dichte, Shorehärte, Wärmeformbeständigkeitstemperaturen) zusätzlich zum Kurzzeichen angegeben.
- PTFE wird wegen der festen Konsistenz und der Unschmelzbarkeit (Pulver, Flocken) als Zusatzstoff behandelt. Es ist keine Blendkomponente.
- Die Zusammensetzung der Formmasse hinsichtlich Art und Masseanteil der Zusatzstoffe muss der Formmasselieferant erforderlichenfalls offenlegen.
- Biologisch abbaubare/kompostierbare Polymere im Sinne der DIN EN ISO 14885 und der DIN EN ISO 13432 sind durch den Zusatz **bioab** am Beginn des Textes zur Kurzbeschreibung/Bezeichnung erkennbar.

Formmasse (Polymer + Zusatzstoffe):

☒ nur Polymere und Zusatzstoffe der DEMO-Version anzeigen

Polymer: ▼
Methacrylat-Butadien-Styrol-Copol.

Zusatzstoffe: +

Zusatzstoff	Anteil [%]
✕ KD Chalk	25

☒ wegen spezieller Zusätze (z.B. Flammschutzmittel) ist die thermische Stabilität der Schmelze eingeschränkt

☐ die Formmasse enthält Nukleierungsmittel

- Klicken Sie auf die Auswahlbox, um den Polymer auszuwählen
- Bei **Polymeren mit Zusatzstoffen** müssen Sie zusätzlich die Zusatzstoffe und den entsprechenden prozentualen Anteil angeben.
 - Klicken Sie dazu auf den Schalter mit dem **Plus**-Symbol.
 - Mit einem Doppelklick in die Spalte "**Zusatzstoff**" wird eine Auswahlbox angezeigt in der Sie dann den Zusatzstoff auswählen können.

- Bestätigen Sie die Auswahl mit [Enter] und geben Sie anschließend in der Spalte "Anteil %" den prozentualen Anteil ein.
- Sie können maximal 5 verschiedene Zusatzstoffe hinzufügen.
- Um einen Zusatzstoff wieder zu löschen, klicken Sie auf den entsprechenden Schalter mit dem X-Symbol.

Fließfähigkeit / Steifigkeit und Härte

- Relative Fließfähigkeit innerhalb eines Formmassesortiments ist die durch rheologische Prüfwerte (z.B. MFR; MVR) abgestufte Fluidität. Thermoplastschmelzen sind strukturviskose und viskoelastische Medien, deren Viskosität (oder Fluidität) neben der Temperatur von der Größe der mechanischen Beanspruchung der Schmelze durch Scherung und Dehnung abhängt. Eine umfassende Beschreibung des Fließverhaltens ist nur durch aufwendige Fließkurven bzw. Viskositätsfunktionen möglich. Zur vereinfachten Charakterisierung des Fließverhaltens werden rheologische Einpunktdaten der Schmelze erstellt, die derzeit meist als Volumenfließrate (MVR) oder Massefließrate (MFR) nach ISO 1133 gemessen werden. Für jeden Polymertyp sind unterschiedliche Prüfbedingungen vorgeschrieben, so dass ein genereller Vergleich zwischen unterschiedlichen Polymeren nicht möglich ist. Die Formmassehersteller geben aber innerhalb des jeweiligen Typsortiments eine Bewertung des Fließverhaltens an (z.B. leichtfließend, normalfließend, schwerfließend), so dass der Programmanwender ausreichend informiert ist.
- Steifigkeit und Härte sind quantifiziert durch den Ursprungs-E-Modul aus den zügigen Normversuchen (Zug, Biegung, Druck) sowie durch die Shoreeindringhärte nach DIN EN ISO 868 (Verfahren A und D) oder durch die Kugeleindruckhärte nach DIN ISO 48 (Internationaler Gummihärtegrad IRHD).

Formteilqualität

- Bei der Glanzbewertung glatter Formteilmflächen ist eine analoge Feinbearbeitungs- bzw. Poliergüte der Werkzeugkonturen vorauszusetzen. Für strukturierte Sichtflächen sind besonders die Feinstrukturen zu beachten.
- Das Auftreten von Bindenähten kann durch geometrische Überlegungen (Quellströmung) oder durch computergestützte Füllbildsimulation geklärt werden. Über mögliche Qualitätsminderung (Sichtbarkeit; Festigkeitsminderung) ist nach Anforderung und Erfahrung zu entscheiden.
- Höhere Kristallisationsgrade bei teilkristallinen Polymeren bewirken u.a. eine größere Steifigkeit und Wärmeformbeständigkeit, verbesserte Medienbeständigkeit, geringere Nachschwindung bei vergrößerter Verarbeitungsschwindung sowie eine deutlich verbesserte Verschleißfestigkeit.
- Durch schroffe Abkühlung können im Formteil „innere Zugspannungen“ entstehen, die bei spröden Kunststoffen (z.B. PS) „Haarrisse“ oder bei Einwirkung spezifischer Medien Spannungsrisse bewirken. Analoge Effekte sind beim Umspritzen nicht vorgewärmter Metall- oder Keramikinserts möglich.
- Formteile für optisch aktive Anwendungen (meist aus Akrylatpolymeren) erfordern eigenspannungsfreie langsame Abkühlung.

Aus Design- und Funktionsforderungen an die Formteiloberflächenqualität (Glätte, Glanz) sowie an deren Herstellbarkeit (Entformung, Nachbehandlung, Belagbildung) lassen sich entsprechende Qualitäten der Werkzeugkonturflächen ableiten. Deren Abstufung erfolgt nachstehend mit dem arithmetischen Mittenrauwert R_a nach DIN EN ISO 4287:

- Technisch rau (ohne Feinbearbeitung): $R_a \geq 3 \mu\text{m}$
- Glatt (mit Feinbearbeitung, z.B. Schleifen): $R_a = 0,8 \text{ bis } 1,6 \mu\text{m}$
- Glänzend (Grobpolitur): $R_a = 0,2 \text{ bis } 0,4 \mu\text{m}$
- Hochglänzend (Feinpolitur): $R_a = 0,05 \text{ bis } 0,10 \mu\text{m}$

- Spiegelnd (optische Feinstpolitur): $R_a = 0,012$ bis $0,025 \mu\text{m}$

Bei der Entscheidung zur Oberflächenqualität ist zu berücksichtigen, dass mit zunehmender Poliergüte die Kosten für Fertigung und Wartung der Werkzeuge deutlich ansteigen, während die Abbildungsgenauigkeit auf der Formteilerfläche abnimmt. Kunststofftyp und Verarbeitungsbedingungen können ebenfalls die Abbildungsreproduzierbarkeit erheblich beeinflussen. Insbesondere die optische Sonderqualität (spiegelnde Oberfläche) sollte daher nur für transparente Kunststoffe bei speziellen Anforderungen (z.B. Linsen, Skalen, CD) vorgesehen werden.

Formteile für optische Anwendungen erfordern sehr geringe Eigenspannungen (Dichtekonstanz) und langzeitige Nachdruckwirkungen zur Vermeidung von Einfallstellen bei relativ dickwandigen Teilen. Beide Bedingungen werden u.a. durch hohe Werkzeugkonturtemperaturen erfüllt. Für diesen Zweck wird im Programm eine besondere Orientierung für hohe Konturtemperaturen vorgegeben, die nur wenig unterhalb der Glastemperaturen transparenter Thermoplaste liegt.

Als Geometrieelement für Linsen u.ä. ist die „*Platte*“ oder „*Schale*“ zu wählen, wobei aus den Verläufen der Krümmungsradien mittlere Wanddicken abzuschätzen sind.

Fließwiderstand und Massetemperatur

- Die Orientierungsbereiche der Massetemperatur (Schmelze- bzw. Plastiziertemperatur) werden durch rheologische Gegebenheiten, Qualitätsforderungen und thermische Stabilität bestimmt.
- Der Einspritzdruck bewirkt durch Schererwärmung eine Temperaturerhöhung der Schmelze. Dieser Kühlzeitanteil wird durch eine programminterne Abschätzung des Einspritzdruckes auf Basis eines formmassespezifischen Mindestdruckes berücksichtigt.
- Die Bewertung des Fließwiderstandes der Formteil- und Angusskonturen erfolgt nach Erfahrung des Anwenders. Der Fließwiderstand beinhaltet die Relation Fließweg zu Fließquerschnitt, wobei der Einfluss von Schmelzerichtungsänderungen nahezu bedeutungslos ist.

Die Werkzeugkonturen werden von der Düse (Anguss) bzw. vom Anschnitt (Formteil) durch eine laminare Quellströmung gefüllt, sofern die Schmelze nicht vor Beendigung der Werkzeugfüllung erstarrt. Bei vorgegebener Fließfähigkeit (Viskosität) der Schmelze wird durch Erhöhung der Massetemperatur und/oder des Spritzdruckes die effektivste Fließwegverlängerung bzw. Verkürzung der Füllzeit erreicht. Schmelzeumlenkungen beeinflussen nur unwesentlich den Fließwiderstand. Durch Erhöhung der Werkzeugkonturtemperatur wird wegen der Wärmeisolation der erstarrenden Randschichten der Fließwiderstand nur unwesentlich reduziert, aber die Kühlzeit deutlich erhöht. Eine Vergrößerung der Fließquerschnitte (z.B. durch Wanddickenerhöhung) verringert überproportional den Fließwiderstand. Bezüglich des Wanddickeneinflusses auf den Fließwiderstand flächiger Formkonturen soll folgende Wanddickenzuordnung als Orientierung dienen:

- unter 1 mm = sehr dünnwandig
- 1 bis 2 mm = dünnwandig
- über 2 bis 4 mm = normalwandig
- über 4 mm = dickwandig

Bei Wanddicken unter 0,5 mm ist selbst bei kleinen Fließweglängen eine zuverlässige Werkzeugfüllung nicht immer garantiert.

- Die programminternen Orientierungsbereiche der Massetemperatur repräsentieren die meist üblichen Temperaturbereiche der Praxis.
- Die Massetemperaturbereiche werden nach thermischer Stabilität der Schmelze und fließtechnischen Gegebenheiten der Werkzeugfüllung sowie nach der davon abhängigen Formteilqualität (Oberflächenglanz, Bindahtqualität) bestimmt. Bei Festlegung der Massetemperaturen innerhalb der vorgegebenen Bereiche wird die Kühlzeit relativ wenig beeinflusst.

- Die Werkzeugkonturtemperatur beeinflusst hingegen entscheidend die Kühlzeit. Geringe Kühlzeit (hohe Produktivität) erfordert niedrige Konturtemperaturen, besondere Formteilqualität entsprechend hohe Temperaturen. Die Wahl der „richtigen“ Konturtemperatur ist immer ein Kompromiss, der bezüglich der Formteilqualität u.U. erst durch Produktionsversuche entschieden werden kann. Die praktische Erfahrung des Anwenders ist dabei sehr wichtig. Anderenfalls müssen durch Eingabevariationen die möglichen Kühlzeitabweichungen getestet werden, wobei der jeweilige Zweck der Zykluszeitberechnung (z.B. Kostenvorkalkulation, Maschinenbelegung, Maschineneinstellung) entsprechende Schlussfolgerungen ermöglicht.
- Eine weitergehende Präzisierung der Temperaturen ist durch Kommunikation mit Erfahrungsträgern (z.B. Formteilhersteller, Formmassehersteller) möglich.
- Befürworter der Impulskühlung geben u.a. häufig den Vorteil einer starken Kühlzeitreduzierung an. Tatsächlich ist diese Behauptung weder theoretisch noch praktisch bewiesen, sofern man nachprüfbar Untersuchungen auswertet.

Werkzeugtemperierung und Zusatzkühlung

- Bei Festlegung der Konturtemperatur ist die Realisierbarkeit durch das vorgesehene Werkzeugtemperiersystem zu überprüfen:
 - Wassertemperierung für Konturtemperaturen bis 95 °C.
 - Druckwassertemperierung für maximale Konturtemperaturen von 140 °C bis 180 °C je nach Gerätetyp.
 - Ölt temperierung für maximale Konturtemperaturen von 200 °C bis 350 °C je nach Gerätetyp.
- Bei der Konturtemperaturfestlegung beachten, dass dadurch die Kühlzeit besonders stark beeinflusst wird.
- Die Art des Kühlmitteldurchlaufs (konstant oder intermittierend) ist ohne nennenswerten Einfluss auf die Kühlzeit.
- Die Zusatzkühlung mittels Temperierbad oder Erkaltingslehre parallel zur Werkzeugzykluszeit dient zur Reduzierung der Fertigungsdurchlaufzeit, insbesondere bei dickwandigen Formteilen.

Entformungsbedingungen

- Sofern Angüsse im Werkzeug durch Kühlung fixiert werden, entscheidet die Art der Entformung den erforderlichen Temperatenausgleich (z.B. Verhinderung des Verklebens durch „Nachschmelzen“).
- Durch Entformungssysteme (Auswerfen, Überdrücken von Hinterschnitten) können Formteile u.U. infolge lokaler Pressungen oder anderer Beanspruchungen unzulässig verformt werden.
- Bei ungleichmäßiger Werkzeugtemperierung können sogenannte Hot Spots (Heißzonen) die Ursache von Entformungsschwierigkeiten sein.

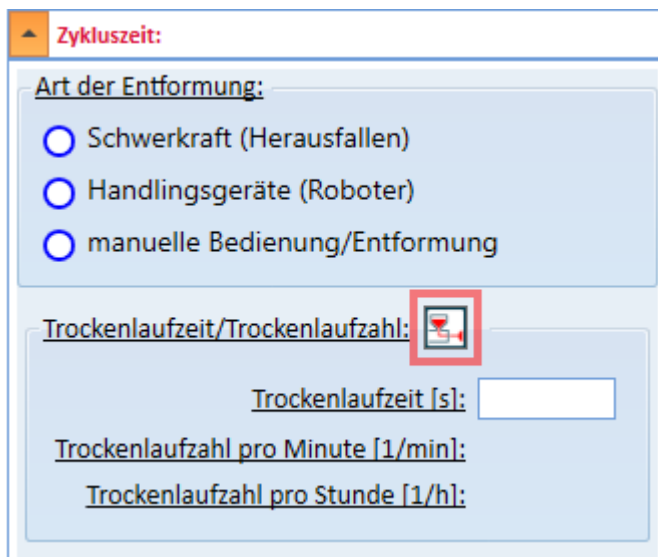
Fertigungs-genauigkeit + Formteilverzug

- Fertigungsbedingte Maßstreuungen für Längenmaße sowie verzugsbedingte Form-, Lage- und Winkelabweichungen bestimmen die Maßhaltigkeit unmittelbar nach der Formteilherstellung.
- Für die erreichbare Maßgenauigkeit ist u.a. der mobilisierbare Fertigungs- und Qualitätssicherungsaufwand des Formteilherstellers entscheidend. Dafür sind die Toleranzreihen nach DIN ISO 20457 vorgesehen. Präzisions-Sonderfertigung ist wie Präzisionsfertigung einzuordnen.

U.a. für die Ermittlung der Toleranzreihen nach DIN ISO 20457 können Sie unsere Software-Produkte **PolTolerances** bzw. **PolTolerances-AC** nutzen. Die entsprechenden Downloads finden Sie auf unserer [Homepage](#).

Zykluszeit

- Entformungszeiten werden durch Richtwerte vorgegeben, wobei in den Fällen Handlingentformung und manueller Bedienungseingriff der Anwender Eingaben nach Erfahrung machen soll. Bei Schwerkraftentformung wird die Entformungszeit nach Maßgabe der Fachzahl überschlägig in 3 Stufen zugeordnet (1; 1,5; 2 s).
- Die Entformungszeiten durch Handlingsgerät (Roboter) bei Formteilen kleiner bis mittlerer Größe, liegen in der Regel im Bereich von 2 bis 6 Sekunden.
- Trockenlaufzeiten bzw. Trockenlaufzahlen werden nach EUROMAP 6 als Zeit für Werkzeug- und ggf. Düsenbewegungen bestimmt. Sie sind ein Maß für die Grundschnelligkeit der Spritzgussmaschinen. Angaben sind aus den Maschinendokumenten der SGM-Hersteller oder der Programmdatei zu entnehmen. Die Trockenlaufzeiten der Programmdatei beziehen sich auf die Standardstufe des jeweiligen Maschinentyps. Durch spezielle Leistungsverstärkung reduzierte Trockenlaufzeiten müssen direkt eingegeben werden. Für die Maschinentotlaufzeit innerhalb des Zyklus wird das 1,5-fache der Trockenlaufzeit als Pauschalwert vorgegeben, da eine genauere Bestimmung häufig nicht möglich bzw. zu aufwendig ist.
- Bei Mehrstationenmaschinen ist zur Trockenlaufzeit die minimale Stationenwechselzeit zu addieren und die Summe einzugeben.

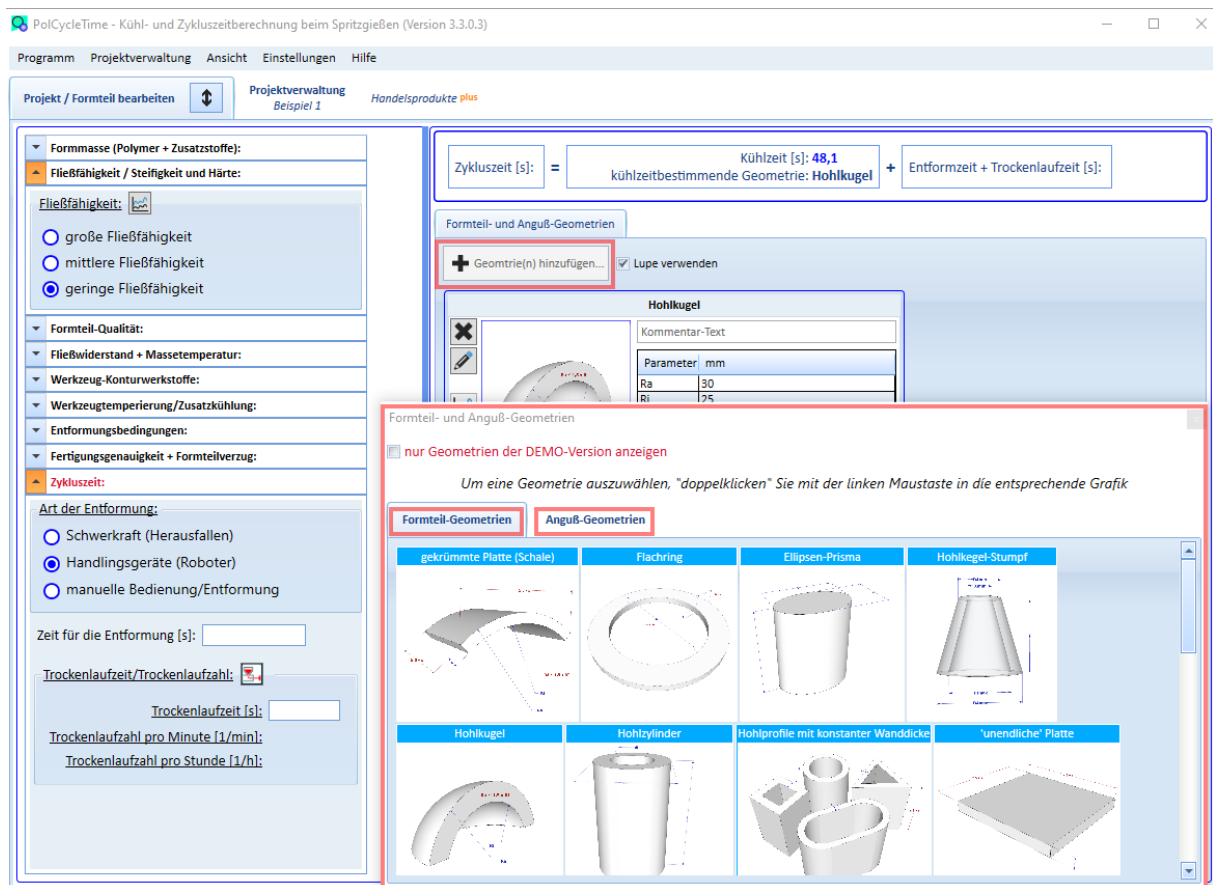


Die Eingaben zur Zykluszeit sind **optional**. Ohne diese Angaben, erscheint nur die Kühlzeit in der Ergebnisanzeige.

Um sich über Trockenlaufzeiten von Spritzgießmaschinen zu informieren, klicken Sie den im Bild gezeigten markierten Schalter. Danach öffnet sich ein weiteres Fenster, in dem Trockenlaufzeiten von ca. 500 Spritzgießmaschinen angezeigt werden.

Geometrien hinzufügen/bearbeiten

Die Bedienung erzwingt keine vorgegebene Reihenfolge. Ob Sie nun zuerst alle Geometrien erfassen und anschließend alle anderen Projekteingaben oder umgekehrt, ist nicht von Bedeutung. U.a. deshalb ist auch das nachträgliche beliebige Editieren möglich und die Ergebnisse werden sofort aktualisiert.



- Sie untersuchen einzelne Formteilpartien, ob diese für die Kühlzeit des Formteiles bestimmend sein können
- dazu zerlegen Sie Ihr Formteil gedanklich in Teilgeometrien und untersuchen diese einzeln
- Klicken Sie in der Hauptansicht auf den Schalter [Geometrie(n) hinzufügen]. Danach öffnet sich ein weiteres Fenster. Dieses Fenster können Sie beliebig in Größe und Position verändern.
- innerhalb des neuen Fensters sehen Sie zwei Register "Formteil-Geometrien" und "Anguß-Geometrien"
- wählen Sie nun ein mehrere Geometrien aus. Doppelklicken Sie dazu einfach auf die entsprechende Grafik. Diese Geometrien werden dann in die Liste der Hauptansicht sofort übernommen
- schließen Sie das Fenster, wenn Sie alle Teilgeometrien erfasst haben

Bearbeiten Sie nun die Maße der hinzugefügten Geometrien

Zykluszeit [s]:

=

Kühlzeit [s]: **48,1**
 kühlzeitbestimmende Geometrie: **Hohlkugel**

+

Entformzeit + Trockenlaufzeit [s]:

+ Geometrie(n) hinzufügen...

☒ Lupe verwenden

✕

✎

📈

✕

✎

📈

✕

✎

📈

✕

✎

📈

✕

✎

📈

✕

✎

📈

✕

✎

📈

✕

✎

📈

✕

✎

📈

✕

✎

📈

✕

✎

📈

✕

✎

📈

- Klicken Sie auf das entsprechende **Stift**-Symbol (links neben der Geometrie). Ein weiteres Fenster wird geöffnet.
- geben Sie nun alle Maße ein
- benutzen Sie die Enter-Taste um die Eingaben anzuschließen. Das Fenster wird geschlossen.

Sind alle anderen Projektangaben vorhanden, wird die Kühlzeit pro Geometrie und die bestimmenden Kühlzeit des Formteils sofort angezeigt.

Um eine Geometrie aus der Liste der Hauptansicht wieder zu entfernen, klicken Sie auf den Schalter mit dem **X**-Symbol.

Hinweise

Für Spritzgussteile ist eine große Spannweite geometrischer Gestaltungsvielfalt und -komplexität charakteristisch. Zur Beschreibung der vielen Geometrielemente (Formteilpartien) eines Formteils bietet das Programm eine reiche Auswahl. Für den Anwender besteht daher die Aufgabe, sein konkretes Formteil in solche Teilpartien mit hinreichender Genauigkeit aufzuteilen.

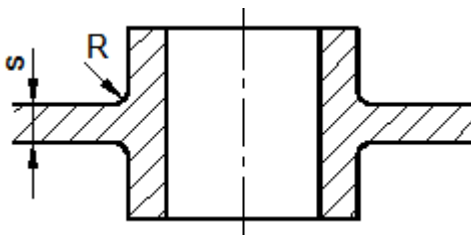
Die Partie mit der längsten Kühlzeit ist dann für den Zyklus maßgebend.

KÜHLZEITBESTIMMENDE ANGUSSGEOMETRIE

- Beim Spritzgießen mit fixierendem Anguss können in ungünstigen (aber meist vermeidbaren) Fällen die Angussverteilerquerschnitte kühlzeitbestimmend sein und auf die angegebenen Verteilerformen zurückgeführt werden.
- Bei verzweigten Angussystemen ist bei gleicher Querschnittsform jeweils der größte Querschnitt auszuwählen.

KÜHLZEITBESTIMMENDE FORMTEILGEOMETRIE

- Die kühlzeitbestimmende Formteilpartie ist durch Auswahl zutreffender Geometrieelemente oder deren Kombination sowie durch kreative Näherungszuordnungen zu ermitteln.
- Alle prismatischen bzw. profilartigen Partien können in Längsrichtung gerade oder gekrümmt sein. Bei abschnittsweise veränderlichen Querschnittsabmessungen sind im Regelfall die Maximalwerte kühlzeitbestimmend.
- Querschnittsvergrößerungen durch **Radienübergänge** zwischen Formteilpartien können durch **ca. 25 %-ige Erhöhung der Wanddickeneingabe** bei anliegenden flächigen Formteilelementen berücksichtigt werden.



Beispiel: Eingabe: $(s \cdot 1,25)$ mm

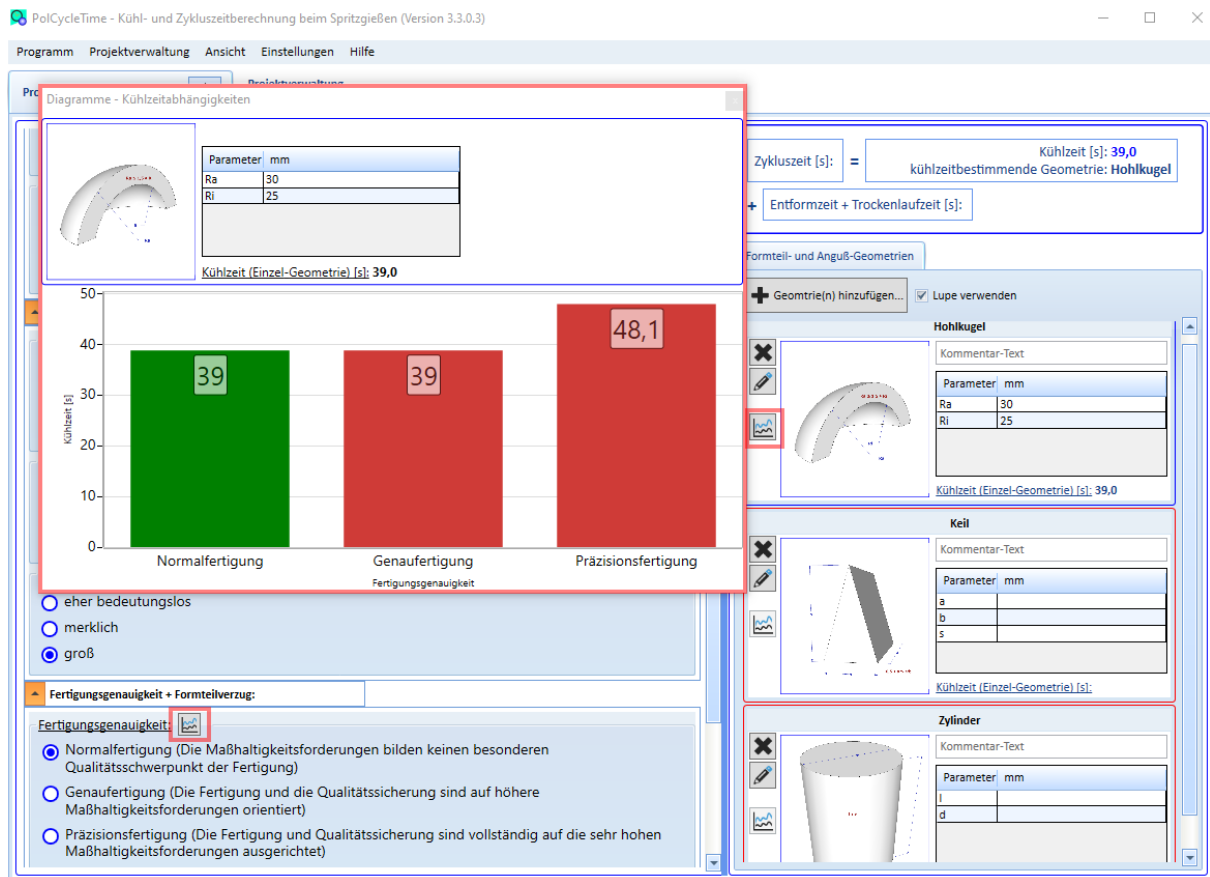
Abhängigkeitsdiagramme anzeigen

Wir haben für bestimmte Eingaben/Entscheidungen sogenannte Abhängigkeits-Diagramme vorgesehen.

Sie können sich diese Diagramme anzeigen lassen, indem Sie eine Geometrie und eine der folgenden Eigenschaften entsprechend zuordnen.

- Fließfähigkeit
- Fließwiderstand der Werkzeugkonturen
- Massetemperatur
- Werkzeug-Konturwerkstoffe
- Konturtempertaur
- Fertigungsgenauigkeit

In den entsprechenden Ansichten existiert jeweils eine entsprechendes **Diagramm**-Symbol

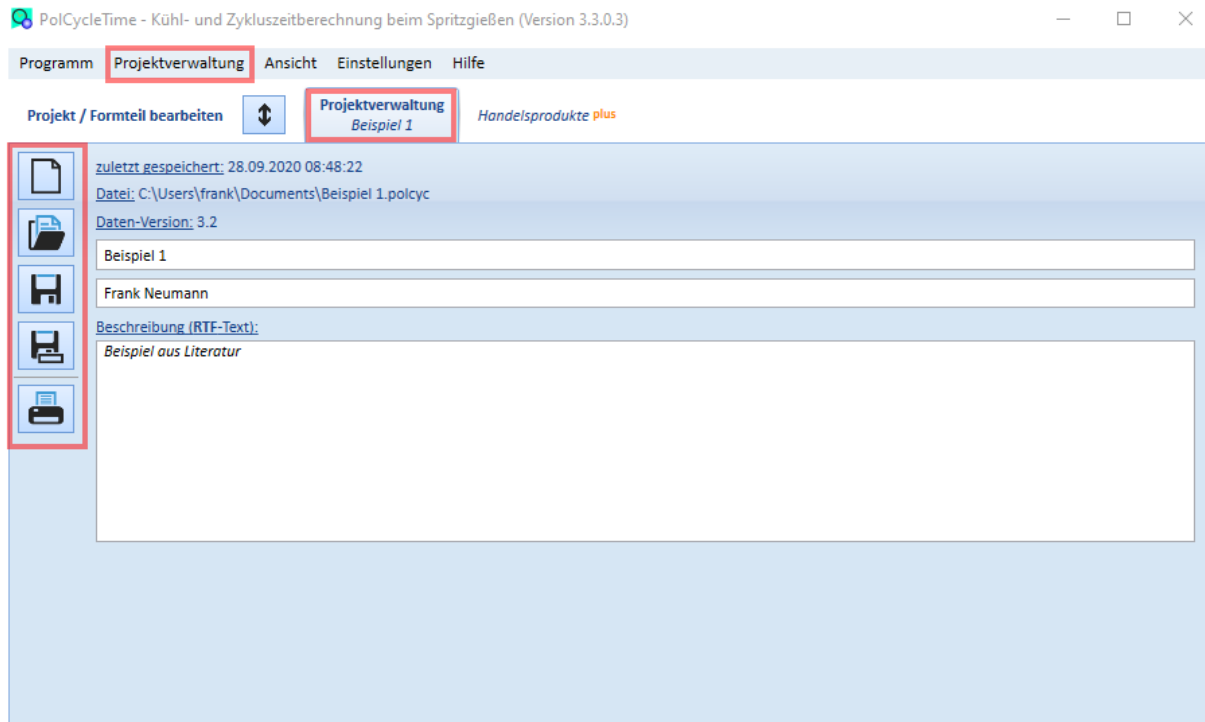


- wählen Sie die Geometrie aus, indem Sie auf das **Diagramm**-Symbol der Geometrie klicken
- wählen die Eigenschaft innerhalb der Eingabe-Gruppen aus (ebenfalls über Klick auf das **Diagramm**-Symbol). Es wird nun ein weiteres Fenster geöffnet.
- hier ist die Geometrie und die möglichen Werte der entsprechenden Eigenschaft (X-Achse) zu sehen. Abhängig davon werden die berechneten Kühlzeiten als Balken-Diagramm oder als Linien-Diagramm dargestellt.
- sie können das Fenster geöffnet lassen und entweder eine andere Eigenschaft oder eine andere Geometrie auswählen. Darauf hin wird die Darstellung entsprechend aktualisiert.
- der **grün** angezeigte Wert entspricht Ihrer aktuellen Auswahl der entsprechenden Eigenschaft

Hier in diesem Beispiel ist zu sehen, dass bei einer geforderten *Präzisionsfertigung* sich die Kühlzeit um ca. 10 Sekunden erhöhen würde.

Projektverwaltung

Sie können Ihre Projekte in jeweils einzelnen Dateien verwalten. Dafür gibt es ein entsprechendes Register sowie ein entsprechendes Menü im Hauptmenü.



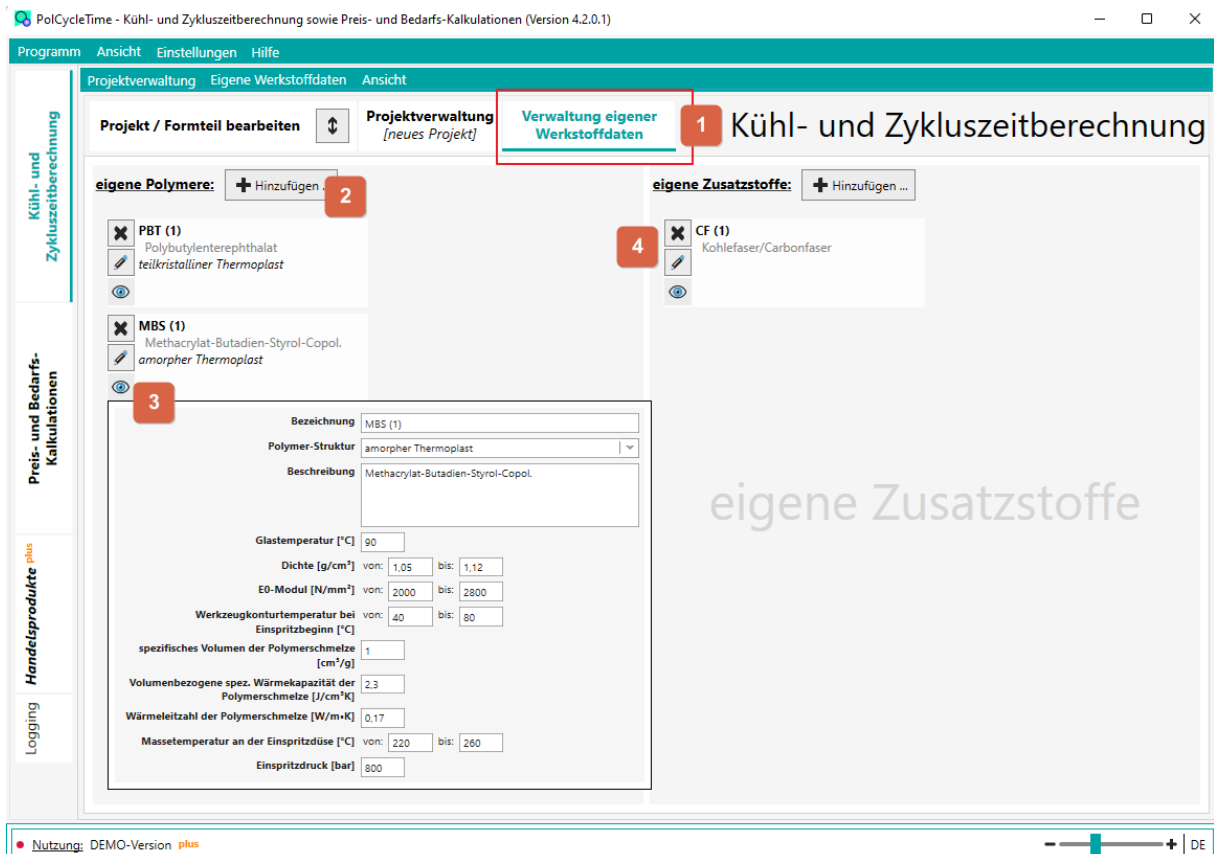
Folgende Funktionen stehen zur Auswahl und können über die gezeigten Schalter bzw. die entsprechenden Menüpunkt aufgerufen werden:

1. neues Projekt anlegen. Ihre bisherige Daten gehen verloren
2. ein vorhandenes Projekt laden. Ihre bisherigen Daten gehen verloren.
3. die aktuellen Daten speichern. Es muss mindestens eine Projektbezeichnung eingetragen sein, um das Projekt als Datei speichern zu können
4. die aktuellen Daten unter einer anderen Datei (Dateinamen) speichern
5. die Eingaben und Ergebnisse in einer Druckvorschau anzeigen lassen und ausdrucken

Eigene Werkstoffdaten

Zusätzlich zu Daten der mitgelieferten Datenbank, haben Sie die Möglichkeit, eigene Daten zu nutzen.

Im Register **1** sehen Sie alle von Ihnen bisher erfassten Polymere und Zusatzstoffe. Hier können Sie alle Ihre eigenen Daten übersichtlich verwalten.



- über den Schalter **2** können Sie einen Polymer bzw. einen Zusatzstoff hinzufügen
- über den Schalter **3** können Sie sich die aktuellen Daten in einem Popup-Fenster anzeigen lassen
- über **4** können Sie die Daten nachträglich bearbeiten bzw. löschen

Wird der Polymer bzw. der Zusatzstoff im aktuellen Projekt verwendet, dann:

- kann der Polymer/Zusatzstoff nicht gelöscht werden
- werden bei Änderungen von Daten (die für die Kühlzeitberechnung von Bedeutung sind) die Ergebnisse sofort aktualisiert

weitere Hinweise:

- Beim Hinzufügen eines Polymers bzw. eines Zusatzstoffe können Sie die Daten aus der Datenbank als Vorlage verwenden
- Die Bezeichnung der Polymers bzw. Zusatzstoffes muss eindeutig sein. Sie werden ggf. darauf hingewiesen, wenn Sie die Daten speichern.

FAQ's

Frage:

Wie erfolgt prinzipiell die Auswahl bzw. Zuordnung der kühlzeitbestimmenden Formteilgeometrien?

Antwort:

Für Spritzgussteile ist eine große Spannweite geometrischer Gestaltungsvielfalt und -komplexität charakteristisch. Zur Beschreibung der vielen Geometrieelemente (Formteilpartien) eines Formteils bietet das Programm eine reiche Auswahl. Für den Anwender besteht daher die Aufgabe, sein konkretes Formteil in solche Teilpartien mit hinreichender Genauigkeit aufzuteilen. Die Partie mit der längsten Kühlzeit ist dann für den Zyklus maßgebend. Diese Vorgehensweise ist mit dem Programm auch für Anwender mit geringerer Erfahrung schnell und sicher nachvollziehbar.

Frage:

Bei der grafischen Darstellung der Kühlzeit in Abhängigkeit von der Massetemperatur wurde in Einzelfällen ein Minimum der Kühlzeit bei bestimmten Massetemperaturen gefunden. Ist dieser Sachverhalt physikalisch korrekt?

Antwort:

Die abzuführende Körperwärme (Enthalpie) zuzüglich Schmelzwärme ist umso größer, je höher die Massetemperatur ist. Es ist daher eine kontinuierliche Kühlzeitverlängerung mit steigender Massetemperatur bei sonst gleichbleibenden Bedingungen zu erwarten.

Programmintern wird aber der kühzeitverlängernde Scherwärmeanteil berücksichtigt. Dieser Wärmeanteil entsteht hauptsächlich durch Scherströmung in den Formteilerandzonen bei der volumetrischen Werkzeugfüllung und wird bei höherer Massetemperatur unter ansonsten konstanten Bedingungen schneller abgeführt.

Diese gegensätzlichen Einflüsse können im Einzelfall zu einem meist sehr flachen Kühlzeitminimum im praxisüblichen Massetemperaturbereich führen. Die Massetemperatur des Kühlzeitminimums ist umso größer, je größer die Werkzeugkonturtemperatur, der Einspritzdruck und das Oberflächen/Volumen-Verhältnis der kühzeitbestimmenden Formteilkontur sind.

Frage:

Wie zuverlässig können die thermodynamischen Formmassedaten bei beliebiger Kombination von Polymeren und Zusatzstoffen programmintern berechnet werden?

Antwort:

Der Schmelzzustand wird als maßgebend für die Kühlzeitberechnung angesehen. Für die Basisdaten spez. Volumen, spez. Wärmekapazität und Schmelzwärme existieren physikalisch exakt definierte Additionsregeln. Zur Berechnung der Wärmeleitzahl werden in der Fachliteratur viele Modelle unterschiedlicher Komplexität und Kompliziertheit angeboten. Das programmintern ausgewählte Berechnungsmodell (nicht das Maxwellmodell) wurde mit Messergebnissen erfolgreich korreliert. Die ausreichende Rechengenauigkeit für das Wärmeleitzahlmodell ist bis auf ca. 60 Vol. % Zusatzstoffanteil begrenzt. Eine merkliche Fehlermarke kann insbesondere bei kristallinen Zusatzstoffen mit stark richtungsabhängigen Stoffeigenschaften auftreten. Insgesamt werden bezogen auf den Kühlzeitrechenwert maximal Abweichungen von $\pm 10\%$ erwartet.

Frage:

Nach welchen Gesichtspunkten wird programmintern die Entformungstemperatur festgelegt?

Antwort:

Die Entformungstemperatur gehört zu den Parametern mit großem Einfluss auf die Kühlzeit. Je nach Erfordernis beschreibt sie ein mittleres Temperaturniveau des Spritzlings oder seine Maximaltemperatur in Querschnittsmitte. Diese Erfordernisse sind für Anguss und Formteil unterschiedlich geregelt. Die formmassespezifischen Bezugstemperaturen (Glastemperatur, Schmelztemperatur, Fließtemperatur) werden in 3 unterschiedlichen Formmassegruppen erfasst. Für das Formteil werden die Entformungstemperaturen in 5-facher Abstufung differenziert. Die Zuordnung erfolgt bei Berücksichtigung der Temperierbedingungen (Zusatzkühlung), der geforderten Fertigungsgenauigkeit, der Querschnittsdicke, der Formstoffsteifigkeit bzw. – härte, der Entformungsbedingungen und des Auftretens von Einfallstellen. Für die Angusskühlung ist nur eine 3-stufige Zuordnung nach den Entformungsbedingungen und für teilkristalline Polymere zusätzlich nach der Querschnittsdicke vorgesehen. Aus den Erläuterungen ist erkennbar, dass die Entformungstemperatur kein einfach angebbarer Kennwert ist. Mit der Abfrage eines Festwertes wären viele Anwender überfordert.

Frage:

Ist für die Einstufung der relativen Fließfähigkeit von Thermoplastschmelzen eine polymertypunabhängige Quantifizierung möglich?

Antwort:

Thermoplastschmelzen sind strukturviskose und viskoelastische Medien, deren Viskosität (oder Fluidität) neben der Temperatur von der Größe der mechanischen Beanspruchung der Schmelze durch Scherung und Dehnung abhängt. Eine umfassende Beschreibung des Fließverhaltens ist nur durch aufwendige Fließkurven bzw. Viskositätsfunktionen möglich. Zur vereinfachten Charakterisierung des Fließverhaltens werden rheologische Einpunktdaten der Schmelze erstellt, die derzeit meist als Volumenfließrate (MVR) oder Massefließrate (MFR) nach ISO 1133 gemessen werden. Für jeden Polymertyp sind unterschiedliche Prüfbedingungen vorgeschrieben, so dass ein genereller Vergleich zwischen unterschiedlichen Polymeren nicht möglich ist. Die Formmassehersteller geben aber innerhalb des jeweiligen Typsortiments eine Bewertung des Fließverhaltens an (z.B. leichtfließend, normalfließend, schwerfließend), so dass der Programmanwender ausreichend informiert ist.

Frage:

Gibt es zur Programmhilfe zusätzliche Hinweise für die Einschätzung des Fließwiderstandes der Werkzeugkonturen?

Antwort:

Die Werkzeugkonturen werden von der Düse (Anguss) bzw. vom Anschnitt (Formteil) durch eine laminare Quellströmung gefüllt, sofern die Schmelze nicht vor Beendigung der Werkzeugfüllung erstarrt. Bei vorgegebener Fließfähigkeit (Viskosität) der Schmelze wird durch Erhöhung der Massetemperatur und / oder des Spritzdruckes die effektivste Fließwegverlängerung bzw. Verkürzung der Füllzeit erreicht. Schmelzeumlenkungen beeinflussen nur unwesentlich den Fließwiderstand. Durch Erhöhung der Werkzeugkonturtemperatur wird wegen der Wärmeisolierung der erstarrenden Randschichten der Fließwiderstand nur unwesentlich reduziert, aber die Kühlzeit deutlich erhöht. Eine Vergrößerung der Fließquerschnitte (z.B. durch Wanddickenerhöhung) verringert überproportional den Fließwiderstand. Bezüglich des Wanddickeneinflusses auf den Fließwiderstand flächiger Formkonturen soll folgende Wanddickenzuordnung als Orientierung dienen:

- unter 1 mm = sehr dünnwandig
- 1 bis 2 mm = dünnwandig
- über 2 bis 4 mm = normalwandig
- über 4 mm = dickwandig

Bei Wanddicken unter 0,5 mm ist selbst bei kleinen Fließweglängen eine zuverlässige Werkzeugfüllung nicht immer garantiert.

Frage:

Sind für die Auswahl von Masse- und Werkzeugkonturtemperatur weitergehende Präzisierungen möglich?

Antwort:

- Die programminernen Orientierungsbereiche repräsentieren die meist üblichen Temperaturbereiche der Praxis.
- Die Massetemperaturbereiche werden nach thermischer Stabilität der Schmelze und fließtechnischen Gegebenheiten der Werkzeugfüllung sowie nach der davon abhängigen Formteilqualität (Oberflächenglanz, Bindenahtqualität) bestimmt. Bei Festlegung der Massetemperaturen innerhalb der vorgegebenen Bereiche wird die Kühlzeit relativ wenig beeinflusst.
- Die Werkzeugkonturtemperatur beeinflusst hingegen entscheidend die Kühlzeit. Geringe Kühlzeit (hohe Produktivität) erfordert niedrige Konturtemperaturen, besondere Formteilqualität entsprechend hohe Temperaturen. Die Wahl der "richtigen" Konturtemperatur ist immer ein Kompromiss, der bezüglich der Formteilqualität u.U. erst durch Produktionsversuche entschieden werden kann. Die

praktische Erfahrung des Anwenders ist dabei sehr wichtig. Anderenfalls müssen durch Eingabevariationen die möglichen Kühlzeitabweichungen getestet werden, wobei der jeweilige Zweck der Zykluszeitberechnung (z.B. Kostenvorkalkulation, Maschinenbelegung, Maschineneinstellung) entsprechende Schlussfolgerungen ermöglicht.

- Eine weitergehende Präzisierung der Temperaturen ist durch Kommunikation mit Erfahrungsträgern (z.B. Formteilhersteller, Formmassehersteller) möglich.
- Befürworter der Impulskühlung geben u.a. häufig den Vorteil einer starken Kühlzeitreduzierung an. Tatsächlich ist diese Behauptung weder theoretisch noch praktisch bewiesen, sofern man nachprüfbar Untersuchungen auswertet.

Frage:

Kann für die Glanzbewertung glatter Formteilsichtflächen eine quantifizierbare Stufenskala angegeben werden?

Antwort:

Aus Design- und Funktionsforderungen an die Formteiloberflächenqualität (Glätte, Glanz) sowie an deren Herstellbarkeit (Entformung, Nachbehandlung, Belagbildung) lassen sich entsprechende Qualitäten der Werkzeugkonturflächen ableiten. Deren Abstufung erfolgt nachstehend mit dem arithmetischen Mittenrauwert R_a nach DIN EN ISO 4287:

- Technisch rau (ohne Feinbearbeitung): $R_a \geq 3 \mu\text{m}$
- Glatt (mit Feinbearbeitung, z.B. Schleifen): $R_a = 0,8 \text{ bis } 1,6 \mu\text{m}$
- Glänzend (Grobpolitur): $R_a = 0,2 \text{ bis } 0,4 \mu\text{m}$
- Hochglänzend (Feinpolitur): $R_a = 0,05 \text{ bis } 0,10 \mu\text{m}$
- Spiegelnd (optische Feinpolitur): $R_a = 0,012 \text{ bis } 0,025 \mu\text{m}$

Bei der Entscheidung zur Oberflächenqualität ist zu berücksichtigen, dass mit zunehmender Poliergüte die Kosten für Fertigung und Wartung der Werkzeuge deutlich ansteigen, während die Abbildungsgenauigkeit auf der Formteiloberfläche abnimmt. Kunststofftyp und Verarbeitungsbedingungen können ebenfalls die Abbildungsreproduzierbarkeit erheblich beeinflussen. Insbesondere die optische Sonderqualität (spiegelnde Oberfläche) sollte daher nur für transparente Kunststoffe bei speziellen Anforderungen (z.B. Linsen, Skalen, CD) vorgesehen werden.

Frage:

Kann die Gefahr der Spannungsrissbildung bei thermoplastischen Kunststoffen zwecks besserer Einschätzung näher charakterisiert werden?

Antwort:

Bei allen thermoplastischen Kunststoffen treten nach gleichzeitiger Einwirkung spezieller Medien und entsprechend großer Zugspannungen bzw. Dehnungen Spannungsrisse (Mikro- bis Makrorisse) auf. Dieser zeitabhängige physikalische Vorgang erfordert Medien mit besonderer Wechselwirkung zum jeweiligen Kunststoff (Benetzbarkeit, Diffusion, Löslichkeit) und einen kritischen Zugspannungs- bzw. Dehnungszustand.

Amorphe Thermoplaste größerer Steifigkeit bzw. Härte sind besonders gefährdet, da deren kritische Rissbildungsdehnung je nach Medieneinfluss erheblich unter 1 % liegen kann. Polystyrol ist hierfür ein Extrembeispiel, da bei Dehnungen unter 0,3 % bereits bei Lufteinwirkung Mikrorissbildung („Silberschimmer“) möglich ist. Beim Spritzgießprozess dieser Kunststoffe sind möglichst geringe Eigenspannungen (z.B. durch höhere Werkzeugkonturtemperaturen) anzustreben, da bereits ohne zusätzliche Zugbeanspruchungen nach der Entformung Rissbildung möglich ist.

Welche Medien besonders spannungsrissgefährlich für den jeweiligen Kunststoff sind, muss von Erfahrungsträgern (Formmassehersteller, Formteilentwickler, Fachliteratur) erkundet werden.

Frage:

Welche Bedingungen sind beim Spritzgießen optisch aktiver Formteile (z.B. Linsen) besonders zu beachten?

Antwort:

Formteile für optische Anwendungen erfordern sehr geringe Eigenspannungen (Dichtekonstanz) und langzeitige Nachdruckwirkungen zur Vermeidung von Einfallstellen bei relativ dickwandigen Teilen. Beide Bedingungen werden u. a. durch hohe Werkzeugkonturtemperaturen erfüllt. Für diesen Zweck wird im Programm eine besondere Orientierung für hohe Konturtemperaturen vorgegeben, die nur wenig unterhalb der Glastemperaturen transparenter Thermoplaste liegt.

Als Geometrieelement für Linsen u.ä. ist die „Platte“ oder „Schale“ zu wählen, wobei aus den Verläufen der Krümmungsradien mittlere Wanddicken (s) abzuschätzen sind.

typische Spritzgießfehler

Typische Fehlerart	Fehlererkennung	Typische Ursache
Einfallstellen	Vertiefungen an der Formteiloberfläche	ungleichmäßige Schwindung
Verbrennungsschlieren	bräunliche Verfärbung der Formteiloberfläche	zu hohe Schmelzetemperatur bzw. zu lange Verweilzeit
Luftschlieren (Luftnasen, Lufthaken)	matte/bräunliche/silberne/weiße Schlieren im Bereich Wanddickenübergänge und Angüsse.	Luft im SGW wird von Schmelze „überrollt“ und eingeschlossen
Feuchtigkeitsschlieren	großflächige, matte, streifige Bereiche	Wasser im SGW oder Granulat
Farbschlieren	Ungleichmäßige Färbung des Formteils	unzureichende Vermischung, unverträglicher Masterbatch
Glasfaserschlieren	matte, raue Formteiloberfläche	Fließwegorientierung, zu schnelle Abkühlung/Schrumpfung
Lufteinschlüsse (Blasen)	Hohlräume auf dem bzw. im Formteil, wandnahe Ausbeulungen	nicht entwichene / eingespritzte Luft, zu geringer Staudruck, zu hohe / schnelle Dekompression
Lunker / Vakuolen	luftleere Hohlräume im Formteil	zu wenig Schwindungsausgleich
Gaseinschlüsse	Blasen im/an der Oberfläche des Formteils	Zersetzung des Materials, zu hohe Verweilzeit od. Scherung
Bindenähte	optische/mechanische Schwachstelle (als Kerbe oder Farbveränderung sichtbar)	Fließfronten treffen mit zu wenig Druck/Temperatur aufeinander
Glanzunterschiede	zu hoher, zu geringer, unterschiedlicher Glanz der	unterschiedliche Abkühl- bzw. Schwindungsverhältnisse

	Formteiloberfläche	
Freistrahlbildung	schlangenförmige, raue/matte Linie auf der Formteiloberfläche – vom Anguss ausgehend	Quellfluss kommt nicht zustande, zu hoher Druck, plötzliche Querschnittserweiterung, Vertikal-WZ
Schallplatteneffekt	fein geriffelte Formteiloberfläche - konzentrisch, zum Fließwegende parallel verlaufend	Massetemperatur, Einspritzgeschwindigkeit, Werkzeugtemperatur zu gering
matte Stellen im Anschnittbereich	matter Hof (konzentrische Ringe) um den Anschnitt	zu kleine Anschnitte, zu hohe Einspritzgeschwindigkeit
Unvollständige Formfüllung	Außenkontur des Formteils nicht vollständig ausgebildet (meist angussfern)	Vorzeitiges Einfrieren, zu geringer Einspritzdruck/-geschw., WZ-Entlüftungsschwierigkeiten
Dieseeffekt/Brenner	Verbrennungen und ungefüllte Stellen	mangelnde Entlüftung
Überspritzungen (Grat,Schwimmhaut)	filmartiger Rand über die Sollkontur des Formteils hinaus	ungenaueres SGW, Masse zu niedrigviskos, Schließkraft zu gering, SGW-Innendruck zu hoch
Weißbruch / Spannungsrisse	weißliche Verfärbung im belasteten Bereich, richtungsorientierte Risse	Überschreiten einer Grenzverformung/-belastung
Auswerferabdrücke	Ausbeulungen, Glanzunterschiede, Markierungen	Ursachen: Verfahrenstechnisch, geometrisch, thermisch und mechanisch
Deformation bei der Entformung	Risse, Brüche, Überdehnungen usw. (typisch für Teile mit Hinterschneidungen)	Spritzling kann die notwendigen Entformungskräfte nicht aufnehmen
Entformungsriefen	beschädigte (meist strukturierte) Formteiloberfläche	zu geringe Werkzeugsteifigkeit, zu hohe Schrumpfung, zu geringe Entformungsschräge
Abblättern der Oberfläche	Materialschichten blättern ab	Unverträglichkeit von Additiven, Verschmutzung / Feuchtigkeit / Inhomogenität der Masse, zu hohe Einspritzgeschwindigkeit.
Kalter Pfropfen	meist angussnahe, kometenschweifartige Markierung	In die Kavität gelangte erkaltete Masse aus Düse oder Heißkanal
Fadenbildung		Ungenügende Kühlung im Anschnitt-/Angussbereich
dunkle Punkte	dunkle Punkte auf der	WZ-Verschleiß, thermische

	Formteiloberfläche	Schädigung oder Verunreinigung der Masse
Belagbildung	Glanz- und „Topografie“-Störungen auf der Formteiloberfläche	meist niedermolekulare Ablagerungen auf der WZ-Oberfläche
Fehler nach Galvanisierung	Blasen, Pickel, ungenügende Haftung	wenn periodisch auftretend, ist meist der Spritzgießprozess/das Handling schuld
defektes Filmscharnier	Weißbruch, an-/eingerissenes Filmscharnier	Material-Überbeanspruchung z.B. beim Entformen, eingefrorene Formmasse
Verzug des Formteils	Abweichung von der Sollgestalt	Schwindungsunterschiede bzw. Entformungsdeformationen

Preis- und Bedarfskalkulation

Funktionen diese Moduls sind u.a. ...

- die Kalkulation der Stückkosten
- die Berechnung des Werkzeugbedarfs
- die Ermittlung der Maschinenauslastung
- die Berechnung des Maschinenstundensatzes
- die Ermittlung wirtschaftlicher Losgrößen
- die Bestimmung der optimalen Fachzahl

... für die **Fertigung von Spritzgieß- und Pressteilen aus Kunststoffen**.

Die Hilfe zu diesem Programm-Modul ist in einer **zusätzlichen Hilfe-Datei** beschrieben, die ebenfalls Bestandteil der Software-Installation ist. Die Hilfe kann auch über das Programm-Hauptmenü aufgerufen werden und steht auch als PDF-Download auf unserer Homepage bereit.

Konditionierzeit-Berechnung

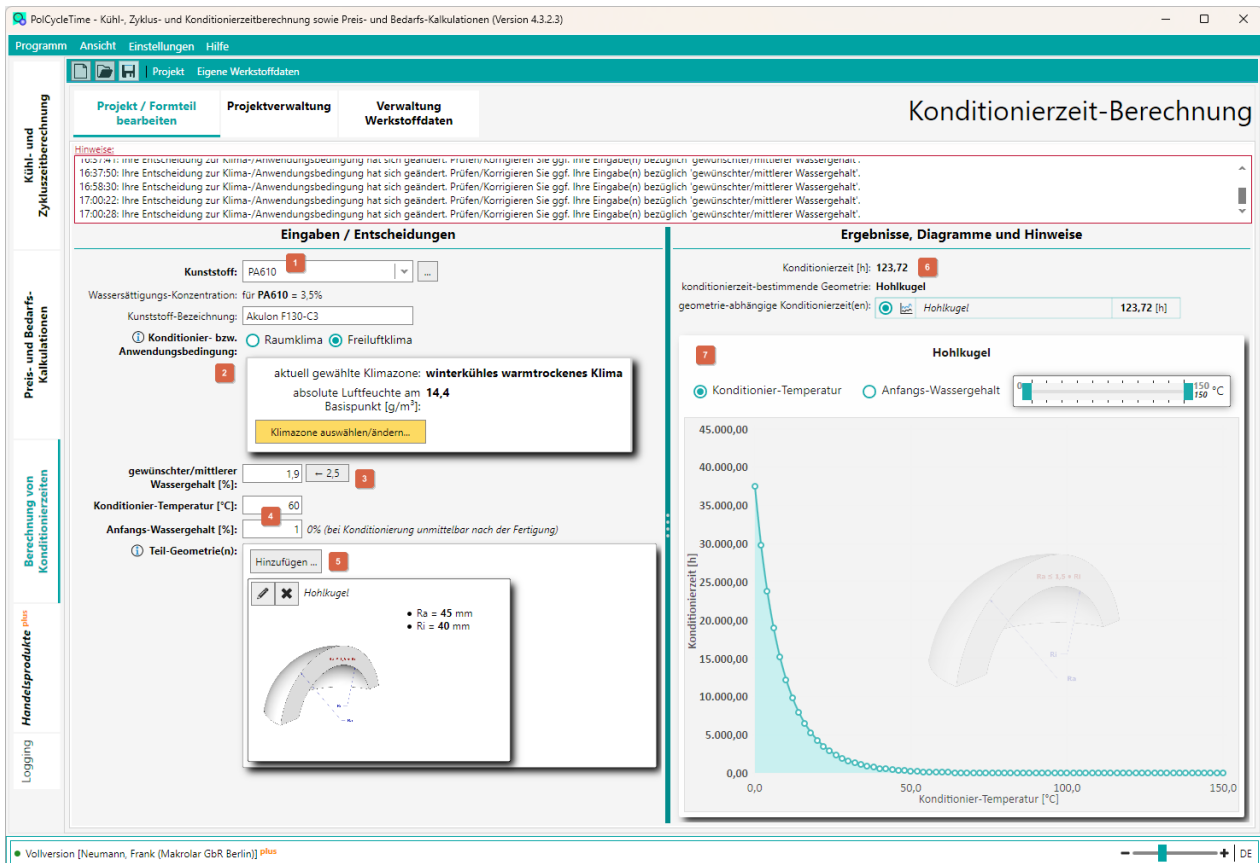
- [Einleitung](#)
- [Berechnungskonzept](#)
- [Bedienung](#)

Schnelleinstieg

1. Wählen Sie eine Kunststoff aus (1)
2. Legen Sie *Konditionier- bzw. Anwendungsbedingung* fest (2)
3. Der *Orientierungswert* für den *gewünschten/mittleren Wassergehalt* wird angezeigt und kann ggf. übernommen oder präzisiert werden (3)
4. Legen Sie *Konditionier-Temperatur* und *Anfangs-Wassergehalt* fest (4)
5. "Zerlegen" Sie Ihr Formteil gedanklich in relevante Teilgeometrien. Fügen Sie die entsprechend Geometrie hinzu und geben Sie die Geometrieparameter ein. (5)

-
- sobald eine Berechnung möglich ist, wird das Ergebnis angezeigt (6)
 - zusätzlich zu den Ergebnissen werden interaktive Abhängigkeitsdiagramme für *Konditionier-*

Temperatur und Anfangs-Wassergehalt dargestellt. (7)



Einleitung

Die Wasseraufnahme der Kunststoffe beeinflusst anwendungsbestimmende Eigenschaften mit steigendem Wassergehalt wie folgt:

- Vergrößerung der dielektrischen Verluste.
- Verringerung der Steifigkeit und Härte.
- Vergrößerung der Zähigkeit (Stoß- und Schlagzähigkeit; Reißdehnung).
- Erhöhte Maßänderung durch Quellung bzw. Austrocknung.

Die maximale Wasseraufnahme der Kunststoffe bis zur Sättigung ist sehr unterschiedlich. Für unpolare Kunststoffe (z.B. Polyolefine) ist sie oft vernachlässigbar, während für hydrophile (polare) Kunststoffe (z.B. Polyamide) die Wasseraufnahme für anwendungstechnische Belange zu berücksichtigen ist. In solchen Fällen erfolgt zum Zweck der Einbringung einer anwendungstechnisch geforderten Wasserkonzentration die Nachbehandlung durch Konditionierung der Kunststoffteile. Diffusionsvorgänge für kompakte Feststoffe verlaufen in Verhältnis zu Wärmeleitungsprozessen sehr viel langsamer.

Die Konditionierzeiten vergrößern sich außerdem überproportional (quadratisch) mit der Querschnittsdicke der Teile. Um die Nachbehandlungszeiten möglichst gering zu halten, erfolgt die Konditionierung in temperaturgeregelten Warmwasserbäder (40 °C bis 90 °C) oder in Sattdampfdruckanlagen (über 100 °C).

Die Konditioniertemperaturen sind mit der thermischen Stabilität der Kunststoffe abzustimmen. Je nach Art, Menge und Verteilung der Zusatzstoffe sowie der fertigungsbeeinflussten Stoffstrukturen (z.B. Kristallisationsgrad) können durch die kurzzeitigen Konditionierprozesse negative Einflüsse (Verfärbungen, Belag, Verzug, Rissbildung) verursacht werden. Eine Gegenmaßnahme wäre die weniger aggressive Konditionierung mit warmfeuchtem Klima in

Klimaanlagen.

Berechnungskonzept

Die instationäre Stoffübertragung durch Wasserdampfdiffusion wird mit dem gleichen mathematischen Formalismus wie die instationäre Wärmeübertragung durch Wärmeleitung beschrieben. Dabei werden Konzentrationsfelder wie Temperaturfelder berechnet, wobei der Stoffkennwert *Temperaturleitzahl* durch den *Diffusionskoeffizient* ersetzt wird. An der Teileoberfläche wird immer eine gesättigte Wasserdampfschicht vorausgesetzt, wodurch der Stoffübergangswiderstand vernachlässigbar ist.

Die Berechnungsansätze der Software setzen einen diffusionsbestimmten Stofftransport voraus. Kapillare Transportvorgänge infolge Stoffporosität sind nicht berücksichtigt. Kunststoffe mit großen Anteile an festen Zusatzstoffen (z.B. über 50 Vol %) können wegen mangelhafter Bindung zwischen Matrix und Zusatzstoff die Bedingung reiner Diffusion u.U. nicht erfüllen.

Die Lösung für die Wasserdiffusion in Kunststoffe wurde bereits 1959 veröffentlicht: *Jouwersma C.: Die Diffusion von Wasser in Kunststoffe. Chemie-Ing.-Techn. (31) 1959/10. S. 652 bis 658.* In diesem Beitrag setzt sich der Autor auch kritisch mit den bis dato üblichen Näherungsformeln (Eulitz; Blank) auseinander.

Bedienung

Nachfolgend werden die wichtigsten Bedienkonzepte beschrieben. Die Software ist in großen Teilen selbsterklärend und - wenn nötig - werden an entsprechender Stelle Hilfen und Hinweise eingeblendet.

- [Projektverwaltung](#)
- [Projekt bearbeiten](#)
- [Verwaltung Werkstoffdaten](#)

Projektverwaltung

- Projekte werden als einzelne Datei(en) verwaltet
- innerhalb der Projektverwaltung können
 - neue Projekte erstellt werden
 - vorhandene Projekte geladen werden
 - Projekte unter einem anderen Dateinamen gespeichert werden
 - die Daten in einer Druckvorschau anzeigt und ausgedruckt werden

Um ein Projekt speichern zu können, muss zumindest eine Projekt-Bezeichnung vorhanden sein. Diese können Sie im Register *Projektverwaltung* angeben.

Ansonsten sind die Funktionen der *Projektverwaltung* auch über das *Menü* und über die *Schalterleiste* nutzbar.

Projekt bearbeiten

Wechseln Sie in das Register *Projekt/Formteil* (1) bearbeiten

Lesen Sie bitte zuerst die Informationen zum [Schnelleinstieg](#).

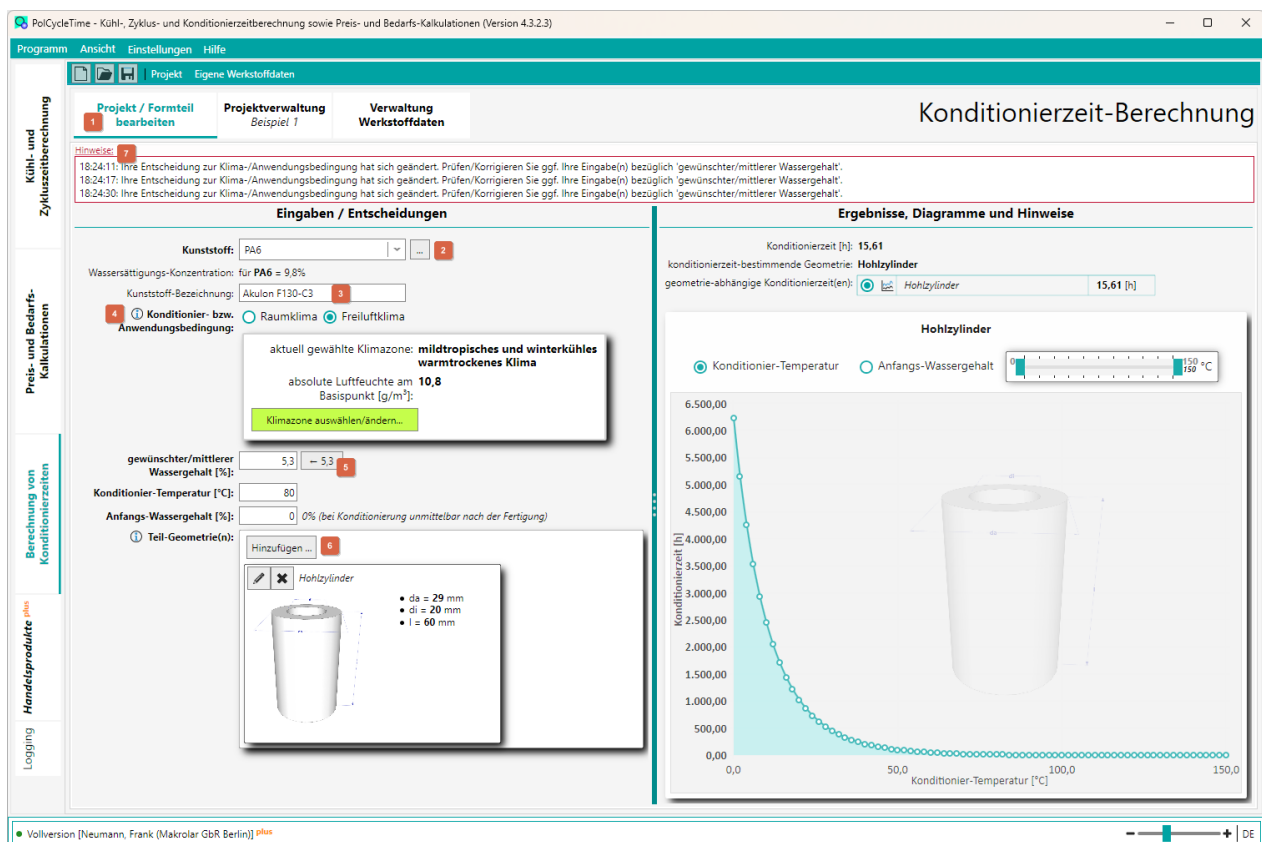
- ein Kunststoff kann entweder über die Auswahl-Box über ein Werkstoffauswahlfenster (2) gewählt werden
- die *Kunststoff-Bezeichnung* ist optional und dient nur der besseren Dokumentation (3)
- bei *Konditionier-* bzw. *Anwendungsbedingungen* können Sie zwischen *Raum-* und

Freiluftklima wählen (4). Bei **Freiluftklima** erscheint ein weiteres Fenster in dem Sie die Klimazone per Mausklick auswählen müssen.

- sobald Sie sich für eine **Konditionier- bzw. Anwendungsbedingung** entschieden haben, wird für den gewünschten/mittleren Wassergehalt ein berechneter Orientierungswert (5) angezeigt. Sie können diesen durch Klicken auf den Schalter übernehmen oder Ihren eigenen Wert verwenden.
- tragen Sie die Werte für Konditionier-Temperatur und Anfangs-Wassergehalt ein
- fügen Sie die relevanten Teil-Geometrien hinzu (6)

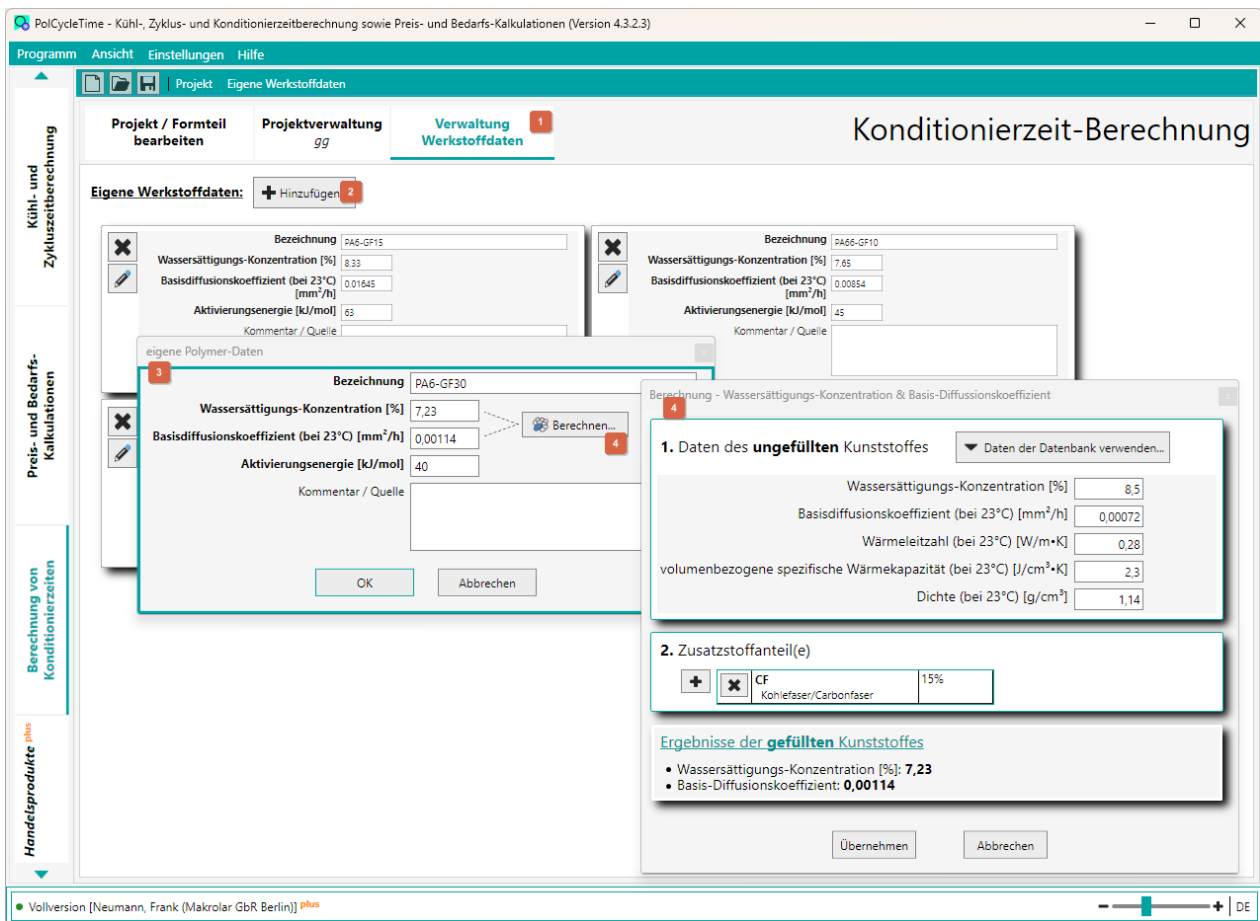
Im rechten Teil des Register erscheinen die Ergebnisse (soweit möglich) bzw. Hinweise auf fehlende oder falsche Eingaben.

Im Register (übergeordnet) werden zusätzlich Hinweise (7) angezeigt, wenn Sie nachträglich Eingaben verändern.



Verwaltung Werkstoffdaten

- für die Verwaltung eigener Werkstoffdaten gibt es ein entsprechendes **Register (1)**.
- Klicken Sie auf **Hinzufügen (2)**, um die Daten für einen neuen Polymer zu erfassen
- es öffnet sich ein weiteres Fenster (3)
- legen Sie die Bezeichnung für den Werkstoff und alle anderen erforderlichen Daten fest. Für **Wassersättigungs-Konzentration** und **Basisdiffusions-Koeffizient** gibt es einen zusätzlichen Berechnungs-Modul (4)



Eigene Werkstoffe werden dann im Auswahldialog des Projektes *kursiv* dargestellt.

Berechnungs-Module

Zusätzlich zu den Hauptmodulen der Software sind derzeit die folgenden Berechnungs-Module nutzbar.

- [Verweilzeit-Berechnung](#)
- [Schmelze-Dichte-Berechnung](#)

Sofern projekt-spezifische Daten nutzbar sind, werden diese automatisch als Eingaben verwendet.

Verweilzeit-Berechnung

- Vorausgesetzt werden 3-Zonenschnecken für Plastiziereinheiten beim Thermoplastspritzguss.
- Als Ausstoßvolumen pro Spritzhub wird das 1,5-fache des rechnerischen Hubvolumens der Schnecke angesetzt. Dieses Hubvolumen ist aus den Maschinendaten für die aktuell eingesetzte Spritzeinheit (ISO) entnehmbar.
- Es werden die Zahlenwerte der Zykluszeit und das spezifische Volumen der Schmelze für die Berechnung benötigt.
- Für Formmassen mit Zusatzstoffen kann die [Dichte der Schmelze](#) berechnet werden.
- Für die Berechnung des erforderlichen Schussgewichts sind die Werkzeugfachzahl und die Formteilmasse erforderlich. Dabei ist zu beachten, dass für Familienwerkzeuge (Gruppenwerkzeuge) die jeweils zusammengehörige Formteilgruppe wie ein Formteil

berücksichtigt wird.

- Fertigungsbedingte Materialverluste und Angussmasseanteile werden überschlägig angerechnet.
- Zur Bewertung einer unzulässigen thermischen Materialschädigung ist nach ISO-Empfehlung die Grenze von ca. 6 min zu beachten.
- Richtwerte der zulässigen Verweildauer können vom Spritzgussmaschinenhersteller und/oder Formmasselieferanten erfragt werden.

Nachfolgend einige Beispiele für die zulässige Verweilzeit:

Kunststoff	zulässige Verweilzeit [min]
PP	5...8
PE-HD, PE-LD	5...10
PS, SB	6...8
ABS, SAN	5...8
PC, (PC+ABS)	4...7
PA6, PA66, PA11, PA12	4...6
POM	3...5
PMMA	4...6
PVC, PVC-HI, PVC-P	1...3
PPS	5...10
PEEK	5...10
PBT, PET	5...6
TPE, TPU	4...8

Sofern der Modul im Kontext der *Kühl- und Zykluszeitberechnung* genutzt wird, werden vorhandene Projektdaten automatisch als Eingaben übernommen.

Schmelze-Dichte-Berechnung

- mit diesem Modul kann die Dichte der Schmelze für Formmassen mit Zusatzstoffen berechnet werden
- dazu werden u.a. die Daten der internen Datenbank verwendet
 - spezifisches Volumen der Polymerschmelze
 - Dichte des Zusatzstoffes

Sie wählen den Polymer aus und fügen ein oder mehrere Zusatzstoffe (unter Angabe der jeweiligen Volumenanteile) hinzu.