PolCycleTime

Kühl-, Zyklus- und Konditionierzeitberechnung sowie Preis- und Bedarfs-Kalkulationen

Benutzerhandbuch

Zykluszeit · Preis- und Bedarfskalkulation · Konditionierzeit

Beschrieben anhand von PolCycleTime 4.3.5.0 · Stand: Oktober 2026

Makrolar GbR Berlin

Inhalt

Inhalt 2
1 Einleitung 3
2 Programmoberfläche 3
3 Kühl- und Zykluszeitberechnung 4
3.1 Arbeitsweise 5
3.2 Formmasse, Fließfähigkeit und Formteil-Qualität 5
3.3 Fließwiderstand, Konturwerkstoffe und Werkzeugtemperierung 7
3.4 Entformung, Fertigungsgenauigkeit und Zykluszeit 9
3.5 Formteil- und Angussgeometrien 10
3.6 Ergebnisse und Diagramme 12
3.7 Nachträgliche Änderungen 13
3.8 Verweilzeitberechnung 14
3.9 Eigene Daten 15
3.10 Speichern und Drucken 16
3.11 Fachliche Hintergründe 16
3.12 Typische Spritzgießfehler 17
4 Preis- und Bedarfs-Kalkulationen 19
4.1 Neues Projekt mit Varianten-Wizard 19
4.2 Fertigungs-, Material- und QS-Kosten 23
4.3 Ergebnisse und Variantenvergleich 24
4.4 Basisdaten und Drucken 27
5 Berechnung von Konditionierzeiten 28
5.1 Hintergrund und Berechnungskonzept 28
5.2 Eingaben 28
5.3 Ergebnisse und Diagramm 30
5.4 Projektverwaltung und eigene Werkstoffdaten 31
6 Berechnungs-Module 32
7 Menüs 33
8 Tipps und häufige Fragen 33

1 Einleitung

PolCycleTime unterstützt Sie bei der Planung und Herstellung von Spritzgießteilen von der ersten Kostenschätzung bis zur Nachbehandlung. Die Software enthält drei Module, die Sie über die Register am linken Fensterrand erreichen:

- **Kühl- und Zykluszeitberechnung:** Kühlzeit und Zykluszeit eines Formteils aus Formmasse, Werkzeug, Entformung und Geometrie (Kapitel 3).
- **Preis- und Bedarfs-Kalkulationen:** Stückkosten, Werkzeugbedarf, optimale Fachzahl, Maschinenauslastung, Maschinenstundensatz und Losgröße, auch im Vergleich mehrerer Varianten (Kapitel 4).
- **Berechnung von Konditionierzeiten:** Dauer, bis Formteile aus Polyamid die gewünschte Gebrauchsfeuchte erreichen (Kapitel 5).

Zusätzlich gibt es im Menü **„Berechnungs-Module“** eine eigenständige Hilfsberechnung für die Dichte der Schmelze (Kapitel 6).

Alle Ergebnisse werden bei jeder Änderung sofort neu berechnet. Solange Angaben fehlen, steht im Ergebnisbereich in Rot **„Es fehlen noch Eingaben bzw. Entscheidungen“**.

> **Hinweis:** Das Register **„Handelsprodukte plus“** ist in diesem Handbuch nicht beschrieben; dafür gibt es ein eigenes Handbuch.

2 Programmoberfläche

Die Abbildung zeigt das Modul **Kühl- und Zykluszeitberechnung** mit einem fertig berechneten Beispiel.

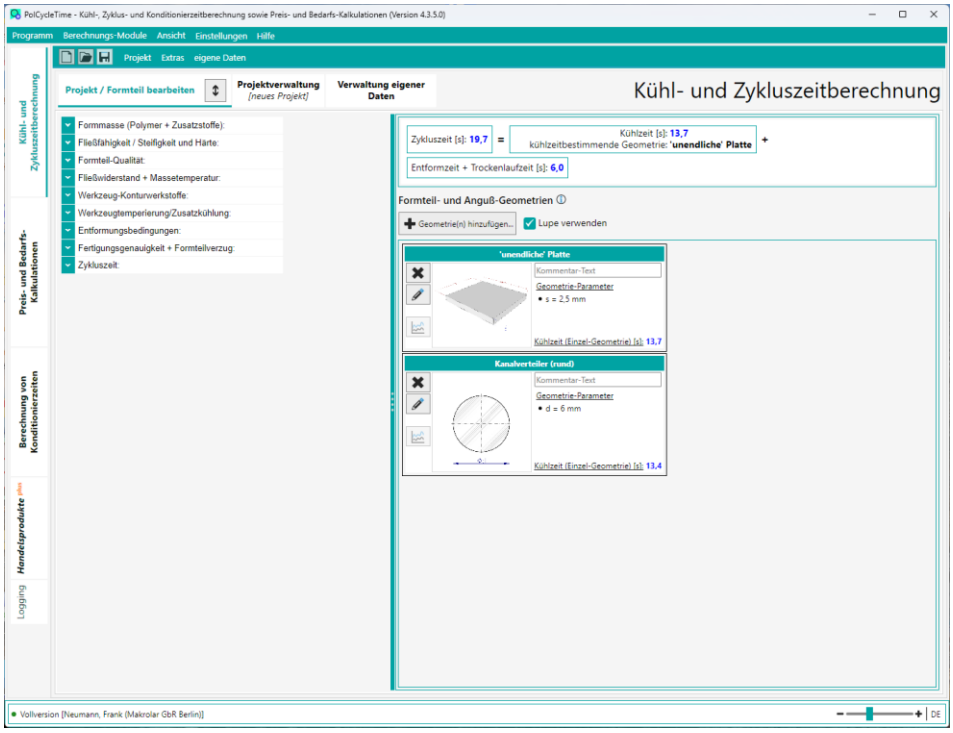


Abbildung 1: Hauptfenster mit Kühl- und Zykluszeitberechnung

Element	Bedeutung

Element	Bedeutung
Menüleiste	**„Programm“**, **„Berechnungs-Module“**, **„Ansicht“**, **„Einstellungen“** und **„Hilfe“** (Kapitel 7).
Register am linken Rand	Wechsel zwischen **Kühl- und Zykluszeitberechnung**, **Preis- und Bedarfs-Kalkulationen** und **Berechnung von Konditionierzeiten**.
Modulleiste	Symbole **Neu**, **Öffnen**, **Speichern** sowie die Menüs des Moduls (z. B. **„Projekt“**, **„Extras“**, **„eigene Daten“**).
Reiter **„Projekt / Formteil bearbeiten“**	Eingaben links in aufklappbaren Abschnitten, Ergebnisse rechts. Die Schaltfläche mit dem Doppelpfeil klappt alle Abschnitte auf bzw. zu.
Reiter **„Projektverwaltung“**	Neues Projekt, Laden, Speichern, Speichern unter und Drucken; dazu Projekt-Bezeichnung, Bearbeiter und Beschreibung. Unter dem Reitertitel steht der Projektname.
Reiter **„Verwaltung eigener Daten“**	Eigene Polymere, Zusatzstoffe, Spritzgießmaschinen bzw. Werkstoffdaten.
Statusleiste	Lizenzstatus, Zoom-Regler und Sprache der Oberfläche („DE“).

Tipp: Die Trennlinie zwischen Eingaben und Ergebnissen lässt sich mit der Maus verschieben.

3 Kühl- und Zykluszeitberechnung

Das Modul ermittelt die **Kühlzeit** jeder Formteil- und Angussgeometrie und daraus die **Zykluszeit** des Formteils. Als Beispiel dient eine **Abdeckplatte aus ABS** mit 2,5 mm Wanddicke, die über einen Rundverteiler mit 6 mm Durchmesser angespritzt und mit einem Handlinggerät entnommen wird.

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 Anwendungen sind:

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

Für die Zykluszeitminimierung ist meist eine systematische Optimierung unter realen Produktionsbedingungen zu empfehlen. Da Zykluszeitgliederungen in der Praxis unterschiedlich gehandhabt werden, gelten im Programm folgende Definitionen:

Begriff	Definition
Kühlzeit	Zeitanteil vom 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 analytischen Lösungen der instationären Wärmeübertragung, die bezüglich der konkreten Bedingungen erheblich erweitert und modifiziert wurden.

3.1 Arbeitsweise

Der Reiter **„Projekt / Formteil bearbeiten“** ist zweigeteilt: Links stehen die Eingaben in aufklappbaren Abschnitten (Expandern), rechts die **Formteil- und Anguß-Geometrien** und darüber die Ergebnisse. Arbeiten Sie die Abschnitte links **von oben nach unten** ab und legen Sie danach rechts die Geometrien mit ihren Maßen an.

- Solange in einem Abschnitt Eingaben oder Entscheidungen fehlen, ist seine **Überschrift rot**. Ist alles erfasst, wird sie schwarz.
- Der gelbe Balken oben meldet **„Es fehlen noch Eingaben bzw. Entscheidungen“**, bis alle Angaben vollständig sind. Erst dann erscheinen die Ergebnisse.
- Einige Kontrollkästchen haben drei Zustände. Ein gefülltes Quadrat bedeutet **„noch nicht entschieden“**; klicken Sie, bis das Kästchen leer (nein) oder angehakt (ja) ist.
- Die Schaltfläche mit dem Doppelpfeil neben dem Reitertitel klappt alle Abschnitte auf bzw. zu.

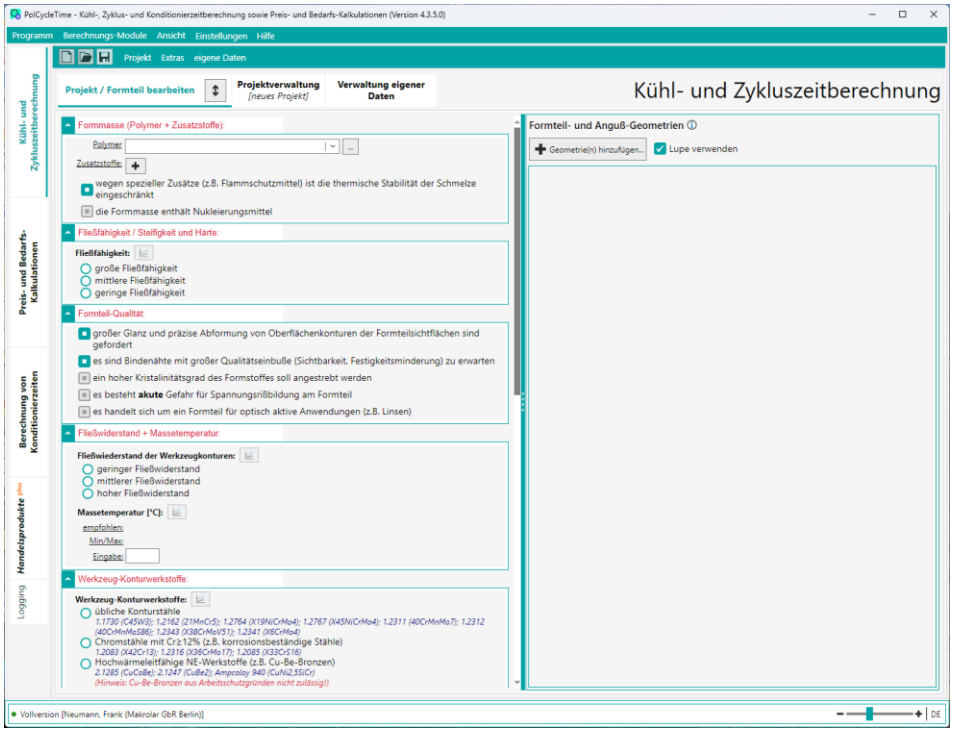


Abbildung 2: Neues Projekt: alle Abschnittsüberschriften sind noch rot

> **Hinweis:** Die Reihenfolge ist nicht zwingend; Ergebnisse erscheinen, sobald alle Angaben vorliegen. Die Bearbeitung von oben nach unten empfiehlt sich aber, weil Informationen zu nachfolgenden Eingaben teilweise auf vorhergehenden Entscheidungen aufbauen. Legen Sie pro Formteil bzw. Formteil-Werkzeug-Maschinen-Kombination eine eigene Projektdatei an.

3.2 Formmasse, Fließfähigkeit und Formteil-Qualität

- **Formmasse (Polymer + Zusatzstoffe):** Wählen Sie das **Polymer** aus der Liste (im Beispiel ABS). Über **„+“** fügen Sie Zusatzstoffe wie Glasfasern mit ihrem Massenanteil hinzu. Entscheiden Sie, ob die thermische Stabilität der Schmelze durch spezielle Zusätze (z. B. Flammschutzmittel) eingeschränkt ist.
- **Fließfähigkeit / Steifigkeit und Härte:** große, mittlere oder geringe Fließfähigkeit der Formmasse (im Beispiel mittlere).

- **Formteil-Qualität:** besondere Anforderungen wie großer Glanz, Bindenähte mit Qualitätseinbuße, hoher Kristallinitätsgrad, Spannungsrissgefahr oder optisch aktive Anwendungen. Im Beispiel trifft keine davon zu; alle Kästchen bleiben leer.

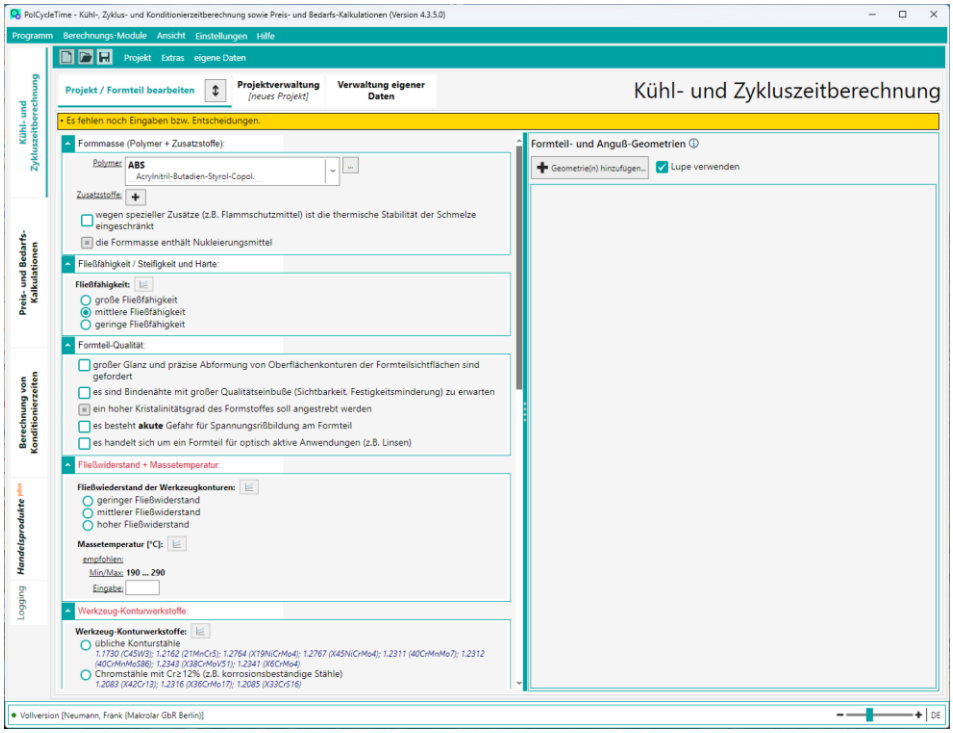


Abbildung 3: Formmasse, Fließfähigkeit und Formteil-Qualität ausgefüllt

Formmasse und Zusatzstoffe. Die Kennzeichnung der Polymere ohne Zusatzstoffe und der Zusatzstoffe erfolgt mit Kurzzeichen und Benennung nach EN ISO 1043, DIN EN ISO 18064 und ISO 1874. Dichtebereiche der Polymere (bei 23 °C, ohne Flammschutzmittel) dienen als weitere Hilfe für die Zuordnung; in einigen Fällen werden zur Typabgrenzung zusätzlich charakteristische Eigenschaften (z. B. Dichte, Shorehärte, Wärmeformbeständigkeitstemperatur) angegeben. PTFE wird wegen seiner festen Konsistenz und Unschmelzbarkeit (Pulver, Flocken) als Zusatzstoff behandelt, nicht als Blendkomponente. Biologisch abbaubare bzw. kompostierbare Polymere im Sinne der DIN EN ISO 14885 und DIN EN ISO 13432 erkennen Sie am Zusatz „bioab“ am Beginn der Bezeichnung. Es können bis zu fünf Zusatzstoffe angegeben werden; Art und Masseanteil muss erforderlichenfalls der Formmasselieferant offenlegen.

Fließfähigkeit. Die relative Fließfähigkeit innerhalb eines Formmassesortiments ist die durch rheologische Prüfwerte abgestufte Fluidität. Thermoplastschmelzen sind strukturviskose und viskoelastische Medien, deren Viskosität neben der Temperatur von der Scher- und Dehnbeanspruchung abhängt. Vereinfacht wird das Fließverhalten durch Einpunktdaten charakterisiert, meist als Volumenfließrate (MVR) oder Massefließrate (MFR) nach ISO 1133. Da für jeden Polymertyp andere Prüfbedingungen gelten, ist ein Vergleich zwischen verschiedenen Polymeren nicht möglich; die Formmassehersteller bewerten das Fließverhalten aber innerhalb ihres Sortiments (z. B. leichtfließend, normalfließend, schwerfließend). **Steifigkeit und Härte** werden durch den Ursprungs-E-Modul aus den zügigen Normversuchen (Zug, Biegung, Druck) sowie durch die Shorehärte nach DIN EN ISO 868 (Verfahren A und D) oder die Kugeleindruckhärte nach DIN ISO 48 (IRHD) quantifiziert.

Formteil-Qualität. Zu den einzelnen Anforderungen:

- **Glanz:** Bei glatten Formteilflächen ist eine entsprechende Feinbearbeitungs- bzw. Poliergüte der Werkzeugkonturen vorauszusetzen, bei strukturierten Sichtflächen sind besonders die Feinstrukturen zu beachten.
- **Bindenähte:** Ihr Auftreten kann durch geometrische Überlegungen (Quellströmung) oder eine Füllbildsimulation geklärt werden. Über die Qualitätsminderung (Sichtbarkeit, Festigkeit) ist nach Anforderung und Erfahrung zu entscheiden.
- **Hoher Kristallisationsgrad** teilkristalliner Polymere bewirkt u. a. größere Steifigkeit und Wärmeformbeständigkeit, bessere Medien- und Verschleißbeständigkeit sowie geringere Nachschwindung bei größerer Verarbeitungsschwindung.
- **Spannungsrisse:** Schroffe Abkühlung erzeugt innere Zugspannungen, die bei spröden Kunststoffen (z. B. PS) Haarrisse oder unter Medieneinwirkung Spannungsrisse bewirken; ebenso beim Umspritzen nicht vorgewärmter Metall- oder Keramikinserts. Amorphe, steife Thermoplaste sind besonders gefährdet, ihre kritische Rissbildungsdehnung kann deutlich unter 1 % liegen (PS: Mikrorisse schon unter 0,3 % Dehnung). Höhere Konturtemperaturen verringern die Eigenspannungen; welche Medien gefährlich sind, ist bei Formmasseherstellern oder in der Fachliteratur zu erfragen.
- **Optisch aktive Formteile** (z. B. Linsen, meist aus Acrylatpolymeren) erfordern sehr geringe Eigenspannungen und lange Nachdruckwirkung. Das Programm gibt dafür hohe Konturtemperaturen knapp unter der Glastemperatur vor. Als Geometrie ist die „Platte“ oder „Schale“ mit einer aus den Krümmungsradien abgeschätzten mittleren Wanddicke zu wählen.

Die Oberflächenqualität der Werkzeugkonturen wird mit dem arithmetischen Mittenrauwert Ra nach DIN EN ISO 4287 abgestuft:

Oberfläche	Mittenrauwert Ra
technisch rau (ohne Feinbearbeitung)	≥ 3 µm
glatt (Feinbearbeitung, z. B. Schleifen)	0,8 … 1,6 µm
glänzend (Grobpolitur)	0,2 … 0,4 µm
hochglänzend (Feinpolitur)	0,05 … 0,10 µm
spiegelnd (optische Feinstpolitur)	0,012 … 0,025 µm

Mit zunehmender Poliergüte steigen die Kosten für Fertigung und Wartung der Werkzeuge deutlich, während die Abbildungsgenauigkeit auf der Formteiloberfläche abnimmt. Spiegelnde Oberflächen sollten daher nur für transparente Kunststoffe mit speziellen Anforderungen (z. B. Linsen, Skalen) vorgesehen werden.

3.3 Fließwiderstand, Konturwerkstoffe und Werkzeugtemperierung

- **Fließwiderstand + Massetemperatur:** geringer, mittlerer oder hoher Fließwiderstand der Werkzeugkonturen und die **Massetemperatur**. Das Programm zeigt den empfohlenen und den zulässigen Bereich für das gewählte Polymer (ABS: empfohlen 190 … 240 °C, im Beispiel 230 °C).
- **Werkzeug-Konturwerkstoffe:** übliche Konturstähle, Chromstähle, hochwärmeleitfähige NE-Werkstoffe, Alu-Speziallegierungen oder Hartnickel; jeweils mit Werkstoffbeispielen.
- **Werkzeugtemperierung/Zusatzkühlung:** Zuerst entscheiden Sie, ob eine unruhige Formteiloberfläche zugunsten einer kürzeren Kühlzeit (Intensivkühlung bis 20 °C) akzeptiert wird. Danach erscheint das Feld **Konturtemperatur** mit empfohlenem Bereich (ABS: 30 … 60 °C, im Beispiel 50 °C). Zuletzt wählen Sie, ob eine Zusatzkühlung im Temperierbad oder mit Erkaltungslehre vorgesehen ist.

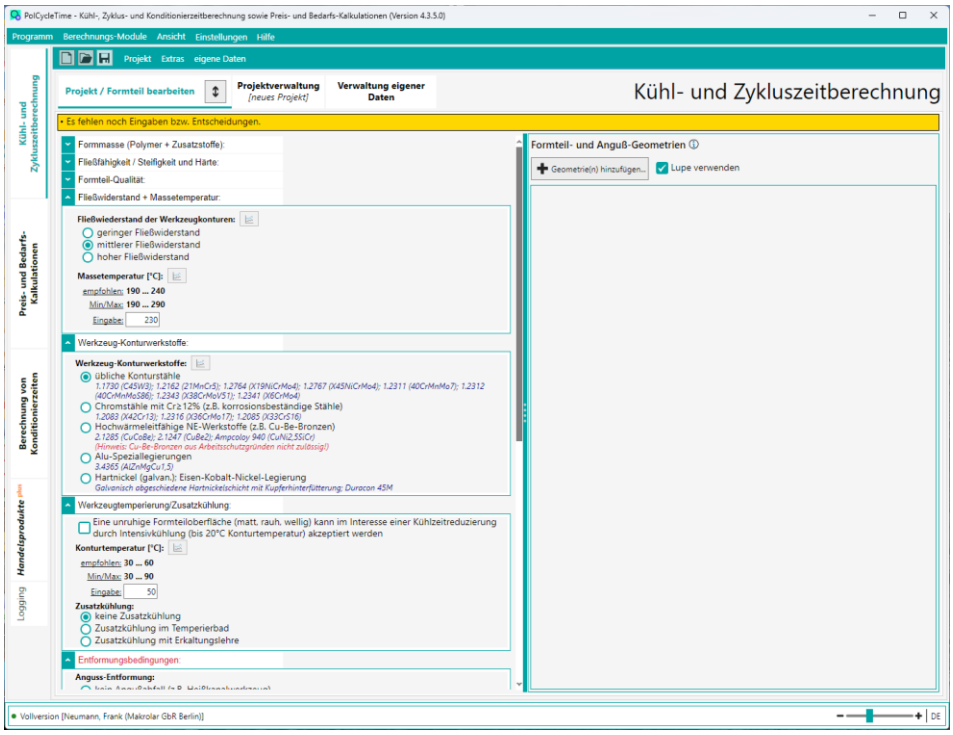


Abbildung 4: Fließwiderstand, Konturwerkstoffe und Werkzeugtemperierung

Massetemperatur. Die Orientierungsbereiche der Massetemperatur repräsentieren die üblichen Bereiche der Praxis; sie ergeben sich aus der thermischen Stabilität der Schmelze, den fließtechnischen Gegebenheiten der Werkzeugfüllung und der davon abhängigen Formteilqualität (Oberflächenglanz, Bindenahtqualität). Innerhalb dieser Bereiche beeinflusst die Massetemperatur die Kühlzeit relativ wenig. Die Temperaturerhöhung der Schmelze durch Schererwärmung beim Einspritzen wird über eine programminterne Abschätzung des Einspritzdrucks auf Basis eines formmassespezifischen Mindestdrucks berücksichtigt.

Fließwiderstand. Die Bewertung des Fließwiderstands der Formteil- und Angusskonturen erfolgt nach Erfahrung des Anwenders; maßgebend ist das Verhältnis von Fließweg zu Fließquerschnitt, Richtungsänderungen der Schmelze sind nahezu bedeutungslos. Die Werkzeugkonturen werden durch eine laminare Quellströmung gefüllt. Erhöhen von Massetemperatur und/oder Spritzdruck verlängert den möglichen Fließweg am wirksamsten; eine höhere Konturtemperatur verringert den Fließwiderstand dagegen kaum, erhöht aber deutlich die Kühlzeit. Größere Fließquerschnitte verringern den Fließwiderstand überproportional. Als Orientierung für flächige Formkonturen:

Wanddicke	Einstufung
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 kurzen Fließwegen eine zuverlässige Werkzeugfüllung nicht immer garantiert.

Konturtemperatur. Die Werkzeugkonturtemperatur beeinflusst die Kühlzeit entscheidend: Kurze Kühlzeiten erfordern niedrige, besondere Formteilqualität hohe Konturtemperaturen. Die Wahl ist immer ein Kompromiss, der u. U. erst durch Produktionsversuche entschieden werden kann. Ohne eigene Erfahrung sollten die möglichen Kühlzeitabweichungen durch Variation der Eingaben (z. B. mit

den Diagrammen, Abschnitt 3.6) abgeschätzt werden; eine weitere Präzisierung ist im Gespräch mit Formteil- oder Formmasseherstellern möglich. Prüfen Sie außerdem, ob das vorgesehene Temperiersystem die Konturtemperatur erreicht:

- Wassertemperierung: bis 95 °C
- Druckwassertemperierung: maximal 140 °C bis 180 °C je nach Gerätetyp
- Öltemperierung: maximal 200 °C bis 350 °C je nach Gerätetyp

Die Art des Kühlmitteldurchlaufs (konstant oder intermittierend) hat keinen nennenswerten Einfluss auf die Kühlzeit. Eine häufig behauptete starke Kühlzeitreduzierung durch Impulskühlung ist nach nachprüfbaren Untersuchungen weder theoretisch noch praktisch belegt. Eine **Zusatzkühlung** im Temperierbad oder mit Erkaltungslehre parallel zum Werkzeugzyklus verkürzt die Fertigungsdurchlaufzeit, insbesondere bei dickwandigen Formteilen.

3.4 Entformung, Fertigungsgenauigkeit und Zykluszeit

- **Entformungsbedingungen:** Angussentformung (kein Angussabfall, z. B. Heißkanal; räumlich getrennt; ohne Trennung), erwartete Deformation bei der Entformung und Qualitätsminderung durch Einfallstellen.
- **Fertigungsgenauigkeit + Formteilverzug:** Normal-, Genau- oder Präzisionsfertigung und der zu erwartende Verzug.
- **Zykluszeit: Art der Entformung** (Schwerkraft, Handlinggerät, manuell), **Zeit für die Entformung** (im Beispiel 3 s) und **Trockenlaufzeit** der Maschine (2 s). Die Trockenlaufzeit können Sie über **„…“** aus den Daten einer Spritzgießmaschine übernehmen.

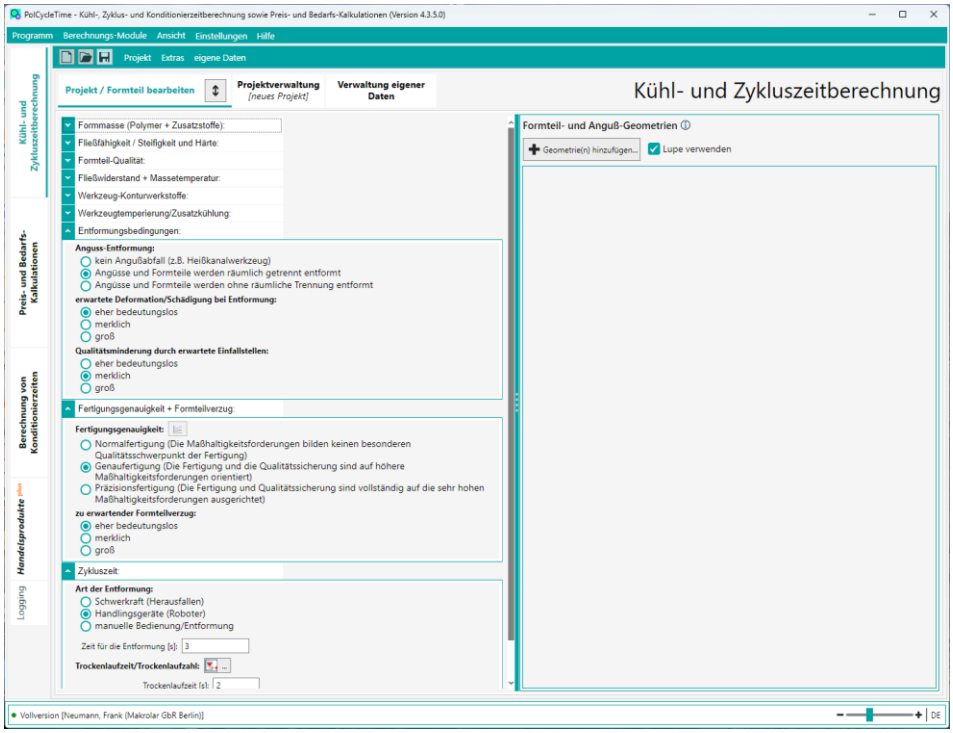


Abbildung 5: Entformungsbedingungen, Fertigungsgenauigkeit und Zykluszeit

Entformungsbedingungen. Werden Angüsse im Werkzeug durch Kühlung fixiert, bestimmt die Art der Entformung den erforderlichen Temperaturausgleich (z. B. damit nichts durch Nachschmelzen verklebt). Entformungssysteme (Auswerfen, Überdrücken von Hinterschnitten) können Formteile durch lokale

Pressungen unzulässig verformen. Bei ungleichmäßiger Temperierung können Heißzonen (Hot Spots) Entformungsschwierigkeiten verursachen.

Fertigungsgenauigkeit. Fertigungsbedingte Maßstreuungen und verzugsbedingte Form-, Lage- und Winkelabweichungen bestimmen die Maßhaltigkeit unmittelbar nach der Herstellung. Entscheidend ist u. a. der mobilisierbare Fertigungs- und Qualitätssicherungsaufwand des Formteilherstellers; dafür sind die Toleranzreihen nach DIN ISO 20457 vorgesehen. Präzisions-Sonderfertigung ist wie Präzisionsfertigung einzuordnen. Für die Ermittlung der Toleranzreihen eignen sich die Programme PolTolerances bzw. PolTolerances-AC.

Zykluszeit. Die Eingaben zur Zykluszeit sind optional; ohne sie wird nur die Kühlzeit angezeigt.

- **Entformungszeit:** Bei Schwerkraftentformung wird sie nach der Fachzahl überschlägig in drei Stufen zugeordnet (1; 1,5; 2 s). Bei Handlinggerät und manuellem Eingriff geben Sie sie nach Erfahrung ein; mit Handlinggeräten liegt sie bei kleinen bis mittleren Formteilen meist bei 2 bis 6 s.
- **Trockenlaufzeit:** nach EUROMAP 6 die Zeit für Werkzeug- und ggf. Düsenbewegungen, ein Maß für die Grundschnelligkeit der Maschine. Sie stammt aus den Maschinendokumenten oder der Programmdatei (Standardstufe des jeweiligen Maschinentyps, ca. 500 Maschinen); reduzierte Werte durch Leistungsverstärkung sind direkt einzugeben. Für die Maschinentotlaufzeit im Zyklus setzt das Programm pauschal das 1,5-fache der Trockenlaufzeit an. Bei Mehrstationenmaschinen ist die minimale Stationenwechselzeit zur Trockenlaufzeit zu addieren.

3.5 Formteil- und Angussgeometrien

Sind links alle Abschnitte ausgefüllt, legen Sie rechts mit **„Geometrie(n) hinzufügen…“** die maßgebenden Wanddickenbereiche an. Im Fenster wählen Sie auf dem Reiter **„Formteil-Geometrien“** bzw. **„Anguss-Geometrien“** eine Grundform per Doppelklick aus, z. B. eine „unendliche“ Platte, Zylinder, Kugel, Kegelstumpf oder Rundverteiler. Ist **„Lupe verwenden“** aktiviert, wird die Grafik unter dem Mauszeiger vergrößert.

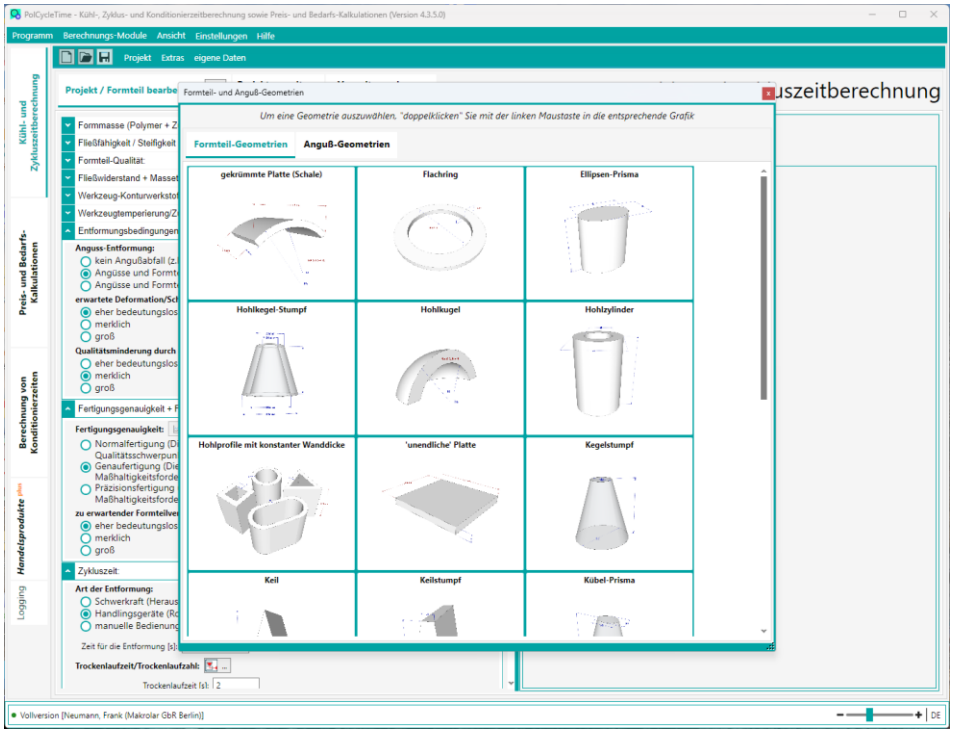


Abbildung 6: Geometrien auswählen

Jede Geometrie erscheint als Karte. Solange ihre Maße fehlen, ist die Karte rot umrandet. Mit dem Stift öffnen Sie die Prinzip-Skizze und tragen die Maße ein; mit dem X entfernen Sie die Geometrie.

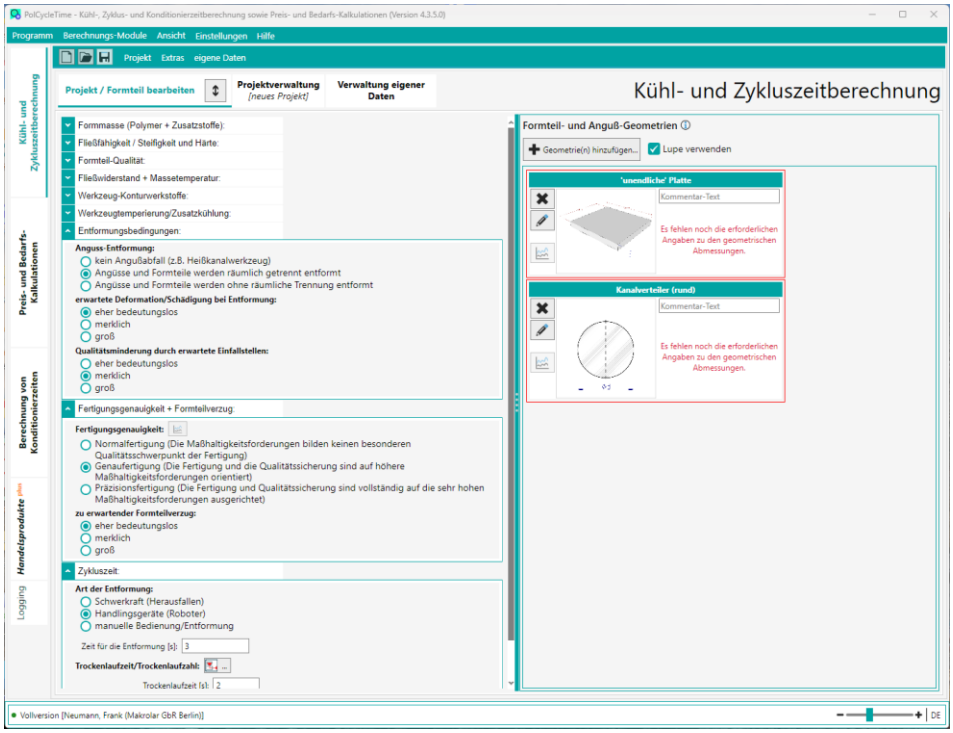


Abbildung 7: Neu angelegte Geometrien ohne Maße

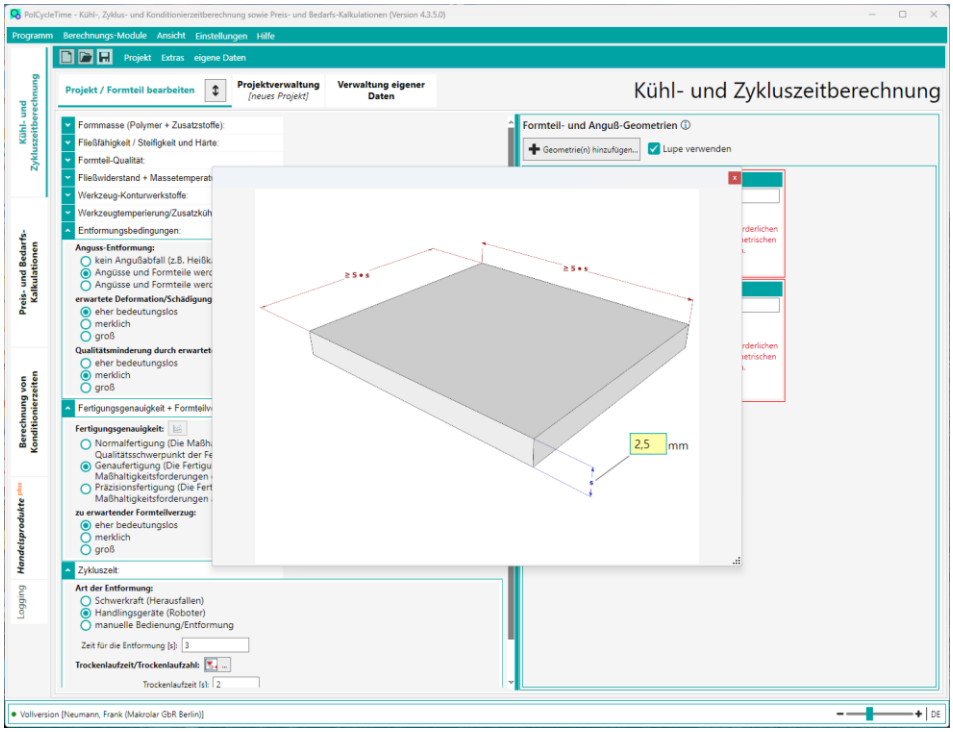


Abbildung 8: Maße einer Geometrie eingeben (Plattendicke 2,5 mm)

Zuordnung der Geometrien. Spritzgussteile sind geometrisch sehr vielfältig. Zerlegen Sie Ihr Formteil gedanklich in Teilpartien, die sich mit den angebotenen Geometrieelementen hinreichend genau beschreiben lassen, und prüfen Sie jede Partie einzeln. Die Partie mit der längsten Kühlzeit ist für den Zyklus maßgebend.

- **Angussgeometrie:** Beim Spritzgießen mit fixierendem Anguss können in ungünstigen (meist vermeidbaren) Fällen die Verteilerquerschnitte kühlzeitbestimmend sein. Bei verzweigten Angusssystemen mit gleicher Querschnittsform ist jeweils der größte Querschnitt zu wählen.
- **Formteilgeometrie:** Prismatische bzw. profilartige Partien können in Längsrichtung gerade oder gekrümmt sein. Bei abschnittsweise veränderlichen Querschnitten sind im Regelfall die Maximalwerte kühlzeitbestimmend.
- **Radienübergänge** zwischen Formteilpartien vergrößern den Querschnitt; berücksichtigen Sie dies durch eine um ca. 25 % erhöhte Wanddicke der anliegenden flächigen Elemente (Eingabe: s · 1,25).

3.6 Ergebnisse und Diagramme

Sobald alle Eingaben und Maße vorliegen, stehen oben rechts die Ergebnisse:

- **Kühlzeit** und die **kühlzeitbestimmende Geometrie**: die Geometrie mit der längsten Kühlzeit. Im Beispiel ist das die Platte mit 13,7 s; der Rundverteiler braucht 13,4 s. Jede Karte zeigt die **Kühlzeit der Einzel-Geometrie**.
- **Entformzeit + Trockenlaufzeit** (im Beispiel 6,0 s).
- **Zykluszeit** = Kühlzeit + Entformzeit + Trockenlaufzeit (im Beispiel 19,7 s).

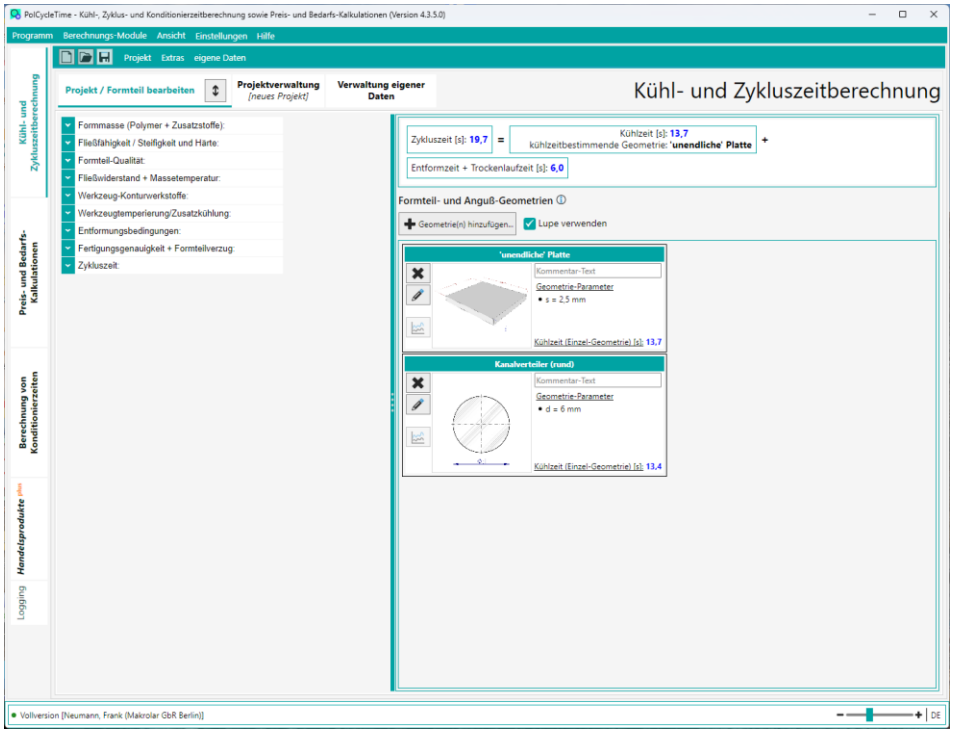


Abbildung 9: Ergebnisse der Kühl- und Zykluszeitberechnung

Die kleinen Diagramm-Schaltflächen neben Massetemperatur, Konturtemperatur, Fließfähigkeit usw. sowie auf den Geometrie-Karten öffnen das Fenster **„Diagramme – Kühlzeitabhängigkeiten“**. Es zeigt, wie sich die gewählte Größe auf die Kühlzeit einer Geometrie auswirkt; der aktuelle Wert ist hervorgehoben. Das Fenster kann geöffnet bleiben, während Sie weitere Diagramm-Schaltflächen anklicken. Die Diagramme stehen erst zur Verfügung, wenn alle Eingaben vorliegen und Ergebnisse angezeigt werden. Abhängigkeitsdiagramme gibt es für Fließfähigkeit, Fließwiderstand der Werkzeugkonturen, Massetemperatur, Werkzeug-Konturwerkstoffe, Konturtemperatur und Fertigungsgenauigkeit; je nach Größe werden die Kühlzeiten als Linien- oder Balkendiagramm dargestellt. So lässt sich z. B. ablesen, um wie viel sich die Kühlzeit bei geforderter Präzisionsfertigung erhöhen würde.

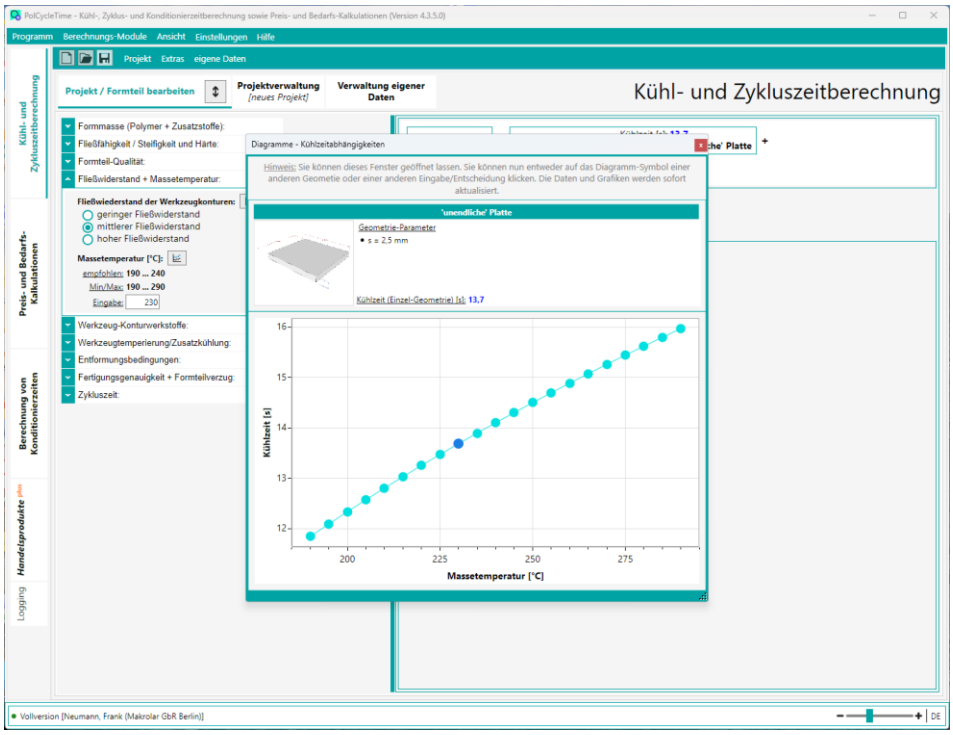


Abbildung 10: Kühlzeit der Platte in Abhängigkeit von der Massetemperatur

3.7 Nachträgliche Änderungen

Alle Eingaben lassen sich jederzeit ändern; die Ergebnisse werden sofort neu berechnet. Manche Entscheidungen hängen jedoch voneinander ab: Wählen Sie z. B. nachträglich ein **anderes Polymer**, werden die davon abhängigen Eingaben zurückgesetzt (u. a. Formteil-Qualität und Massetemperatur). Die betroffenen Abschnittsüberschriften werden wieder rot, die Ergebnisse verschwinden, und Sie müssen diese Angaben neu erfassen.

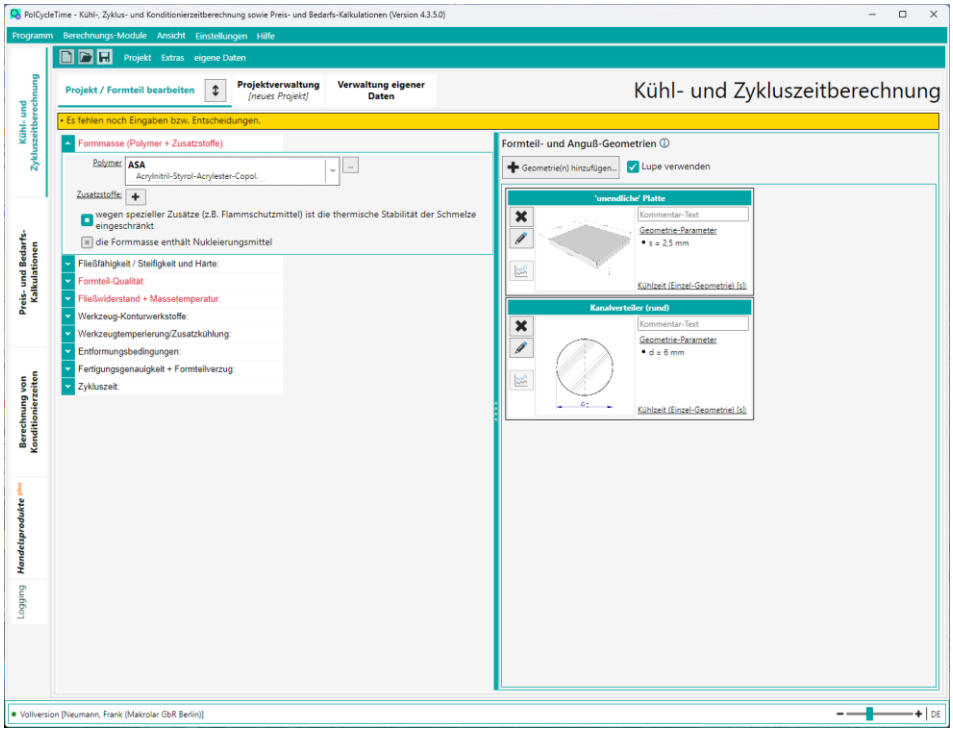


Abbildung 11: Nach dem Wechsel von ABS auf ASA sind abhängige Abschnitte wieder rot

3.8 Verweilzeitberechnung

Über **„Extras“ → „Verweilzeitberechnung“** prüfen Sie, wie lange die Schmelze im Plastifizierzylinder verweilt. Die Daten des aktuellen Projekts werden übernommen; ergänzen Sie **Hubvolumen**, **Werkzeugfachzahl**, **Formteilmasse** und den **Angußmaterial-Zuschlag**. Die Dichte der Schmelze berechnen Sie über **„…“** (Kapitel 6).

Darunter vergleicht eine Tabelle die zulässigen Verweilzeiten gängiger Kunststoffe unter Berücksichtigung der thermischen Schädigung bei der gewählten Massetemperatur. Im Beispiel ergibt sich eine Verweilzeit von 1,16 min.

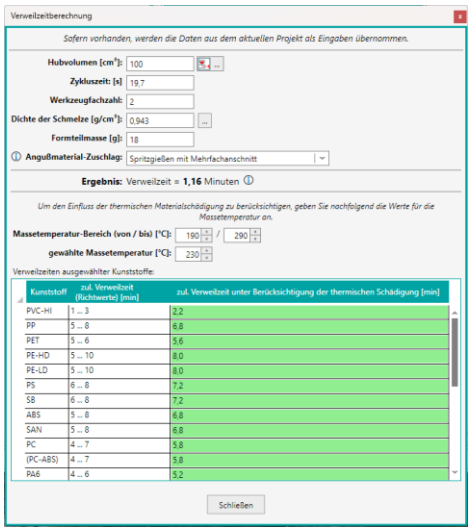


Abbildung 12: Verweilzeitberechnung

Die Berechnung setzt 3-Zonen-Schnecken voraus. Als Ausstoßvolumen pro Spritzhub wird das 1,5-fache des rechnerischen Hubvolumens der Schnecke angesetzt; dieses Hubvolumen ist den Maschinendaten der eingesetzten Spritzeinheit (ISO) zu entnehmen. Für das Schussgewicht werden Werkzeugfachzahl und Formteilmasse benötigt; bei Familienwerkzeugen wird die zusammengehörige Formteilgruppe wie ein Formteil behandelt. Materialverluste und Angussanteile werden überschlägig angerechnet. Als Grenze für eine unzulässige thermische Materialschädigung gilt nach ISO-Empfehlung ca. 6 min; genauere Richtwerte nennen Maschinenhersteller und Formmasselieferanten. Beispiele:

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

3.9 Eigene Daten

Der Reiter **„Verwaltung eigener Daten“** bzw. das Menü **„eigene Daten“** verwaltet **eigene Polymere**, **eigene Zusatzstoffe** und **eigene Spritzgießmaschinen**. Mit **„+ Hinzufügen…“** legen Sie einen Eintrag an, mit dem Stift bearbeiten Sie ihn, mit dem Auge zeigen Sie die Daten an und mit dem X löschen Sie ihn (nach Rückfrage).

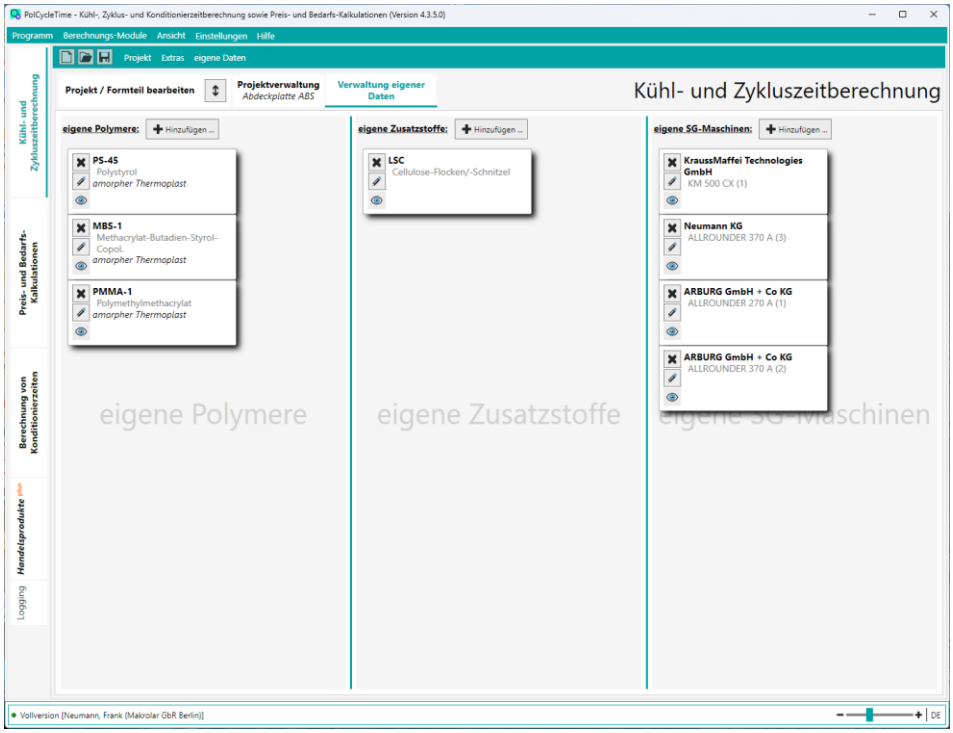


Abbildung 13: Eigene Polymere, Zusatzstoffe und Spritzgießmaschinen

Für ein eigenes Polymer erfassen Sie u. a. Bezeichnung, Polymer-Struktur (amorph oder teilkristallin), Glastemperatur, Dichte, E-Modul, Werkzeugkonturtemperatur und Massetemperatur (jeweils von/bis), spezifisches Volumen, Wärmekapazität, Wärmeleitzahl und Mindest-Einspritzdruck. Mit **„Daten aus Datenbank (als Vorlage) übernehmen“** starten Sie von einem vorhandenen Werkstoff.

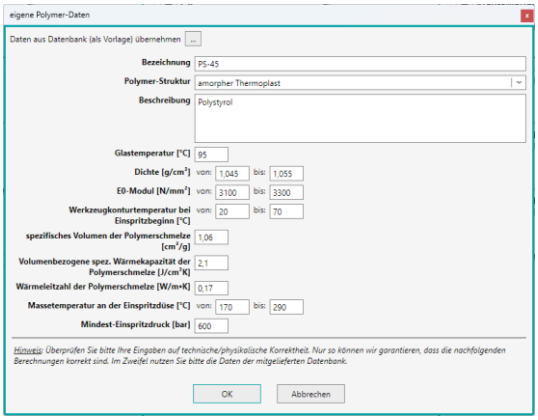


Abbildung 14: Eigenes Polymer bearbeiten

Für eine eigene Spritzgießmaschine erfassen Sie Bezeichnung, Hersteller, Trockenlaufzeit, maximale Schließkraft, Spritzeinheit und Hubvolumen. Die Trockenlaufzeit können Sie dann im Abschnitt **„Zykluszeit“** über **„…“** übernehmen.

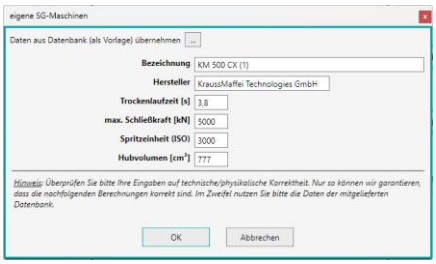


Abbildung 15: Eigene Spritzgießmaschine bearbeiten

Wird ein eigenes Polymer oder ein eigener Zusatzstoff im aktuellen Projekt verwendet, kann er nicht gelöscht werden; ändern Sie kühlzeitrelevante Daten, werden die Ergebnisse sofort aktualisiert. Die Bezeichnung muss eindeutig sein.

> **Wichtig:** Überprüfen Sie Ihre Eingaben auf technisch-physikalische Korrektheit. Nur dann sind die Berechnungen korrekt; nutzen Sie im Zweifel die Daten der mitgelieferten Datenbank.

3.10 Speichern und Drucken

Das Menü **„Projekt“** enthält **Neues Projekt erstellen…**, **Projekt laden…**, **Projekt speichern**, **Projekt speichern unter…** und **Drucken / Druckvorschau…**. Zykluszeit-Projekte werden mit der Endung **.polcyc** gespeichert, standardmäßig im Ordner **Dokumente\PolCycleTime Files**. Der Bericht enthält Projektkopf, Ergebnisse, alle Eingaben und Skizzen der Geometrien.

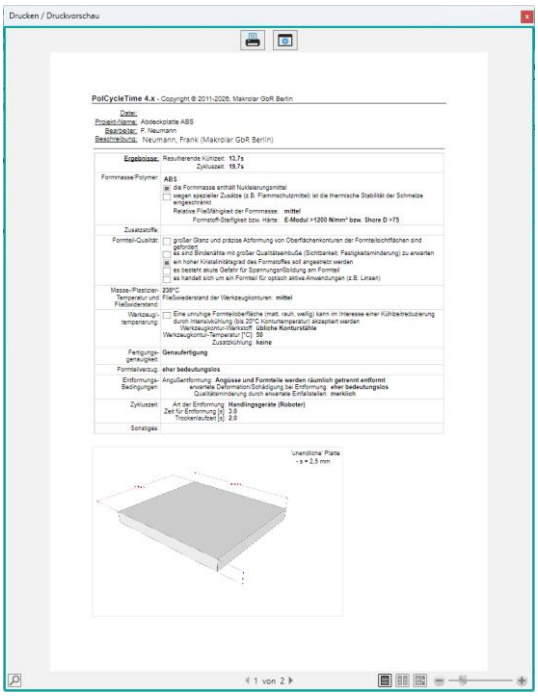


Abbildung 16: Druckvorschau der Kühl- und Zykluszeitberechnung

3.11 Fachliche Hintergründe

Kühlzeitminimum bei bestimmten Massetemperaturen. Mit steigender Massetemperatur ist mehr Wärme abzuführen, die Kühlzeit sollte also kontinuierlich steigen. Programmintern wird aber auch der kühlzeitverlängernde Scherwärmeanteil berücksichtigt, der vor allem in den Randzonen beim volumetrischen Füllen entsteht und bei höherer Massetemperatur schneller abgeführt wird. Diese gegensätzlichen Einflüsse können im Diagramm zu einem meist sehr flachen Kühlzeitminimum im

üblichen Massetemperaturbereich führen. Es liegt umso höher, je größer Konturtemperatur, Einspritzdruck und Oberflächen-Volumen-Verhältnis der kühlzeitbestimmenden Kontur sind.

Genauigkeit der Formmassedaten. Maßgebend für die Kühlzeitberechnung ist der Schmelzzustand. Für spezifisches Volumen, spezifische Wärmekapazität und Schmelzwärme gelten exakte Additionsregeln; für die Wärmeleitzahl wird ein mit Messergebnissen korreliertes Modell verwendet (nicht das Maxwell-Modell). Es ist bis ca. 60 Vol.-% Zusatzstoffanteil ausreichend genau; bei kristallinen Zusatzstoffen mit stark richtungsabhängigen Eigenschaften sind merkliche Fehler möglich. Insgesamt werden für die Kühlzeit Abweichungen von maximal ± 10 % erwartet.

Entformungstemperatur. Sie hat großen Einfluss auf die Kühlzeit und beschreibt je nach Erfordernis ein mittleres Temperaturniveau des Spritzlings oder seine Maximaltemperatur in Querschnittsmitte. Die formmassespezifischen Bezugstemperaturen (Glas-, Schmelz-, Fließtemperatur) werden in drei Formmassegruppen erfasst. Für das Formteil wird die Entformungstemperatur in fünf Stufen differenziert – abhängig von Zusatzkühlung, Fertigungsgenauigkeit, Querschnittsdicke, Steifigkeit bzw. Härte, Entformungsbedingungen und Einfallstellen. Für Angüsse gibt es eine dreistufige Zuordnung nach den Entformungsbedingungen, bei teilkristallinen Polymeren zusätzlich nach der Querschnittsdicke. Deshalb fragt das Programm keinen festen Wert ab, sondern leitet ihn aus Ihren Entscheidungen ab.

3.12 Typische Spritzgießfehler

Die folgende Übersicht hilft, typische Fehlerbilder ihren häufigsten Ursachen zuzuordnen (SGW = Spritzgießwerkzeug, WZ = Werkzeug):

Fehlerart	Erkennung	Typische Ursache
Einfallstellen	Vertiefungen an der Formteiloberfläche	ungleichmäßige Schwindung
Verbrennungsschlieren	bräunliche Verfärbung der Oberfläche	zu hohe Schmelzetemperatur bzw. zu lange Verweilzeit
Luftschlieren	matte, bräunliche, silberne oder weiße Schlieren an Wanddickenübergängen und Angüssen	Luft im SGW wird von der Schmelze überrollt und eingeschlossen
Feuchtigkeitsschlieren	großflächige, matte, streifige Bereiche	Wasser im SGW oder Granulat
Farbschlieren	ungleichmäßige Färbung	unzureichende Vermischung, unverträglicher Masterbatch
Glasfaserschlieren	matte, raue Oberfläche	Fließwegorientierung, zu schnelle Abkühlung
Lufteinschlüsse (Blasen)	Hohlräume auf/im Formteil, wandnahe Ausbeulungen	nicht entwichene Luft, zu geringer Staudruck, zu starke/schnelle Dekompression
Lunker / Vakuolen	luftleere Hohlräume im Formteil	zu wenig Schwindungsausgleich
Gaseinschlüsse	Blasen im bzw. an der Oberfläche	Materialzersetzung, zu lange Verweilzeit oder zu hohe Scherung
Bindenähte	optische/mechanische Schwachstelle (Kerbe, Farbveränderung)	Fließfronten treffen mit zu wenig Druck/Temperatur aufeinander
Glanzunterschiede	zu hoher, zu geringer oder ungleicher Glanz	unterschiedliche Abkühl- bzw. Schwindungsverhältnisse

Fehlerart	Erkennung	Typische Ursache
Freistrahlbildung	schlangenförmige, raue/matte Linie vom Anguss ausgehend	Quellfluss kommt nicht zustande, zu hoher Druck, plötzliche Querschnittserweiterung
Schallplatteneffekt	fein geriffelte, konzentrische Oberfläche	Massetemperatur, Einspritzgeschwindigkeit oder Werkzeugtemperatur zu gering
Matte Stellen am Anschnitt	matter Hof um den Anschnitt	zu kleiner Anschnitt, zu hohe Einspritzgeschwindigkeit
Unvollständige Formfüllung	Kontur nicht vollständig ausgebildet (meist angussfern)	vorzeitiges Einfrieren, zu geringer Einspritzdruck/-geschwindigkeit, Entlüftungsprobleme
Dieseleffekt / Brenner	Verbrennungen und ungefüllte Stellen	mangelnde Entlüftung
Überspritzungen (Grat)	filmartiger Rand über die Sollkontur hinaus	ungenaues SGW, zu niedrigviskose Masse, zu geringe Schließkraft, zu hoher Innendruck
Weißbruch / Spannungsrisse	weißliche Verfärbung, richtungsorientierte Risse	Überschreiten einer Grenzverformung bzw. -belastung
Auswerferabdrücke	Ausbeulungen, Glanzunterschiede, Markierungen	verfahrenstechnische, geometrische, thermische oder mechanische Ursachen
Deformation bei der Entformung	Risse, Brüche, Überdehnungen (typisch bei Hinterschneidungen)	Spritzling kann die Entformungskräfte nicht aufnehmen
Entformungsriefen	beschädigte, meist strukturierte Oberfläche	zu geringe Werkzeugsteifigkeit, zu hohe Schrumpfung, zu geringe Entformungsschräge
Abblättern der Oberfläche	Materialschichten blättern ab	unverträgliche Additive, Verschmutzung, Feuchtigkeit, zu hohe Einspritzgeschwindigkeit
Kalter Pfropfen	angussnahe, kometenschweifartige Markierung	erkaltete Masse aus Düse oder Heißkanal gelangt in die Kavität
Fadenbildung	Fäden am Anguss	ungenügende Kühlung im Anschnitt-/Angussbereich
Dunkle Punkte	dunkle Punkte auf der Oberfläche	WZ-Verschleiß, thermische Schädigung oder Verunreinigung der Masse
Belagbildung	Glanz- und Topografiestörungen	meist niedermolekulare Ablagerungen auf der WZ-Oberfläche
Fehler nach Galvanisierung	Blasen, Pickel, ungenügende Haftung	bei periodischem Auftreten meist Spritzgießprozess oder Handling
Defektes Filmscharnier	Weißbruch, an- oder eingerissenes Scharnier	Überbeanspruchung z. B. beim Entformen, eingefrorene Formmasse
Verzug	Abweichung von der Sollgestalt	Schwindungsunterschiede bzw. Entformungsdeformationen

4 Preis- und Bedarfs-Kalkulationen

Das Modul kalkuliert Stückkosten, Werkzeugbedarf, Werkzeugbestückung, Maschinenauslastung, Maschinenstundensatz und Losgrößen. Ein Kalkulations-Projekt kann mehrere **Varianten** nebeneinander enthalten, z. B. verschiedene Fachzahlen. Beispiel: Die Abdeckplatte aus Kapitel 3 soll in fünf Jahren 1,2 Mio. Mal gefertigt werden; verglichen werden ein 2-fach- und ein 4-fach-Werkzeug.

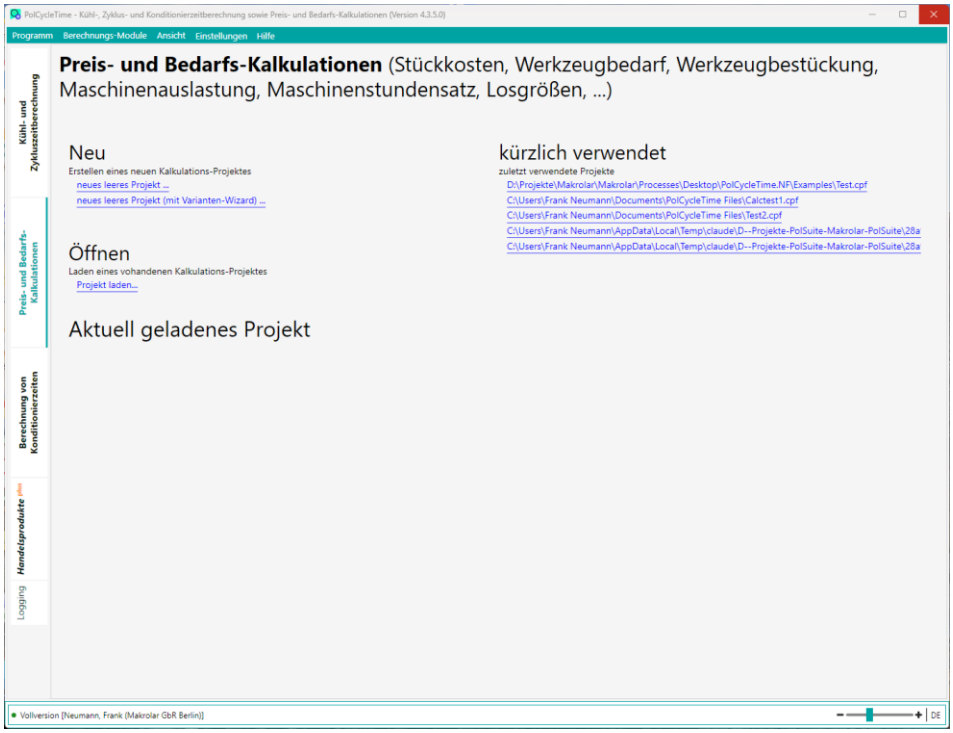


Abbildung 17: Startseite der Preis- und Bedarfs-Kalkulationen

Die Hauptfunktionen des Moduls sind die Kalkulation der Stückkosten und des Werkzeugbedarfs, die Bestimmung der optimalen Werkzeugbestückung (Fachzahl), die Ermittlung der Maschinenauslastung, die Berechnung von Maschinenstundensätzen und die Bestimmung wirtschaftlicher (gewinnoptimaler) Losgrößen – für Spritzgieß- und Pressteile aus Kunststoffen.

Jedes Projekt wird in einer eigenen Datei gespeichert und kann bis zu **10 Varianten** enthalten. Sie können ein **leeres Projekt** ohne Eingaben anlegen oder den **Varianten-Wizard** nutzen, der Sie durch die Eingaben der ersten Variante führt. Ein vorhandenes Projekt öffnen Sie über **„Projekt laden…“** oder per Klick in der Liste **„kürzlich verwendet“**, die die letzten fünf Projekte zeigt.

4.1 Neues Projekt mit Varianten-Wizard

Klicken Sie auf **„neues leeres Projekt (mit Varianten-Wizard)…“** und legen Sie zuerst den Dateinamen fest (Endung **.cpf**). Der Assistent führt Sie durch folgende Schritte:

1. **Varianten-Bezeichnung und Hintergrundfarbe:** Die Farbe hilft, die Varianten in der Gesamtansicht zu unterscheiden.
2. **Fertigungsverfahren und Maßgenauigkeit:** z. B. Spritzgießen von Thermoplasten und Genaufertigung.
3. **Stückzahlen und Ausschuss:** Jahres-Stückzahlen für bis zu fünf Jahre und geschätzter Ausschuss. Mit **„mit Berechnung der optimalen Losgröße“** geben Sie Rüstzeit, Selbstkosten-Rentabilitätsrate und kalkulatorischen Zinssatz an.

4. **Maschinenlaufzeit und Zykluszeit:** Schichtsystem (1-, 2- oder 3-Schicht), verfügbare Maschinenlaufzeit, Stillstandszeiten und die **Zykluszeit** (z. B. aus Kapitel 3).
5. **Werkzeug, Fachzahlen und Werkzeugkosten:** Werkzeug-Typ, technisch mögliche Maximal- und erforderliche Mindestfachzahl mit geschätzten Anschaffungskosten, Formkontur-Kosten, gewählte Fachzahl und Kalkulations-Werkzeugkosten.
6. **Verschleiß:** Komplexität des Werkzeugs (Schieberegler), mechanische Beanspruchung, Härte der Konturen, Abrasion durch Füllstoffe und Oberflächenbeschaffenheit. Daraus ergeben sich Verschleiß-Standzahl und Stückzahl für die Werkzeugabschreibung.
7. Klicken Sie auf **„Fertigstellen“**.

Sie können Eingaben im Wizard auch offen lassen und später ergänzen. Die Reihenfolge der Seiten ist aber so gewählt, dass aus den bisherigen Angaben an den passenden Stellen **Orientierungswerte** berechnet und zur Übernahme angeboten werden; fehlen Angaben, wird ggf. kein Orientierungswert angezeigt.

> **Tipp:** Orientierungswerte erscheinen neben dem Eingabefeld (≈ … ⓘ). Der Tooltip am Symbol ⓘ nennt die Eingaben, von denen der Wert abhängt. Ein Klick auf die Schaltfläche **„←“** davor übernimmt ihn als Eingabe. Orientierungswerte werden ganzzahlig gerundet; unter **„Einstellungen“ → „Optionen…“** legen Sie fest, auf welche Zehnerpotenz sie gerundet werden.

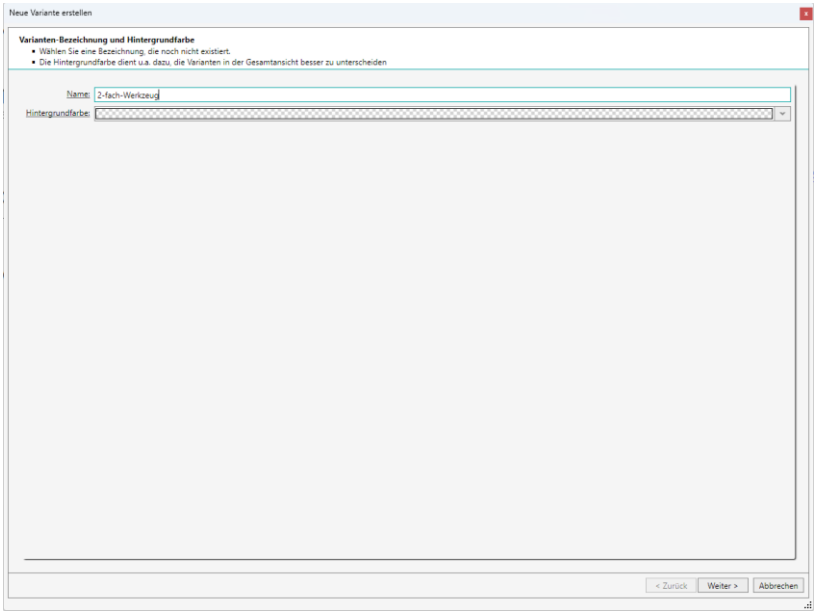


Abbildung 18: Wizard: Varianten-Bezeichnung und Hintergrundfarbe

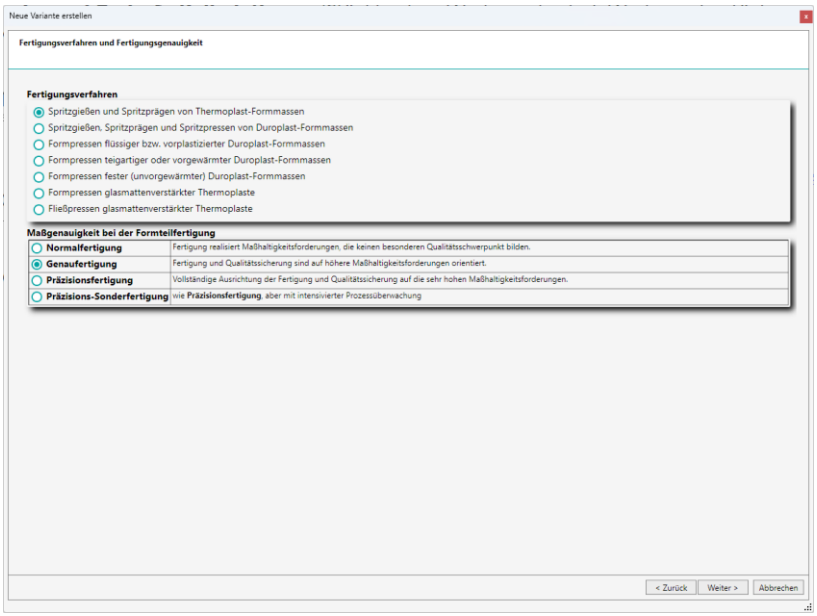


Abbildung 19: Wizard: Fertigungsverfahren und Maßgenauigkeit

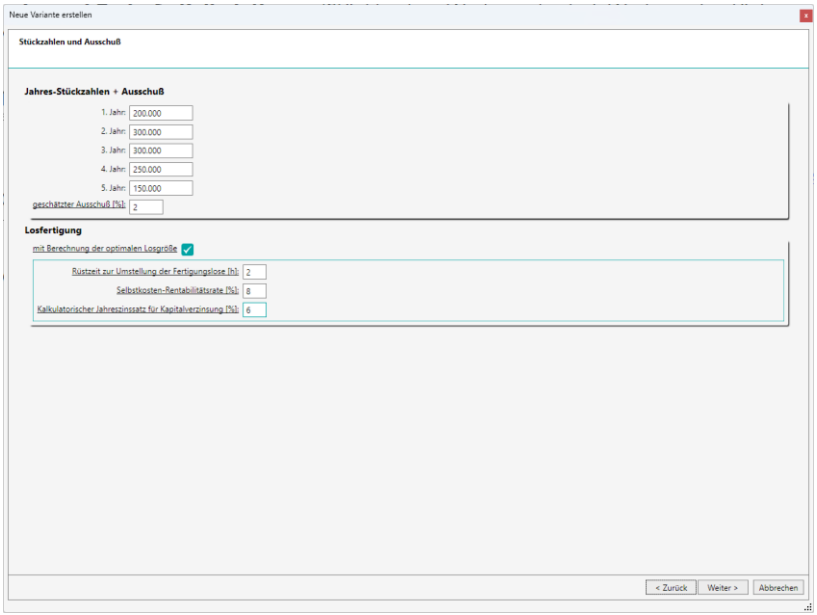


Abbildung 20: Wizard: Stückzahlen, Ausschuss und Losfertigung

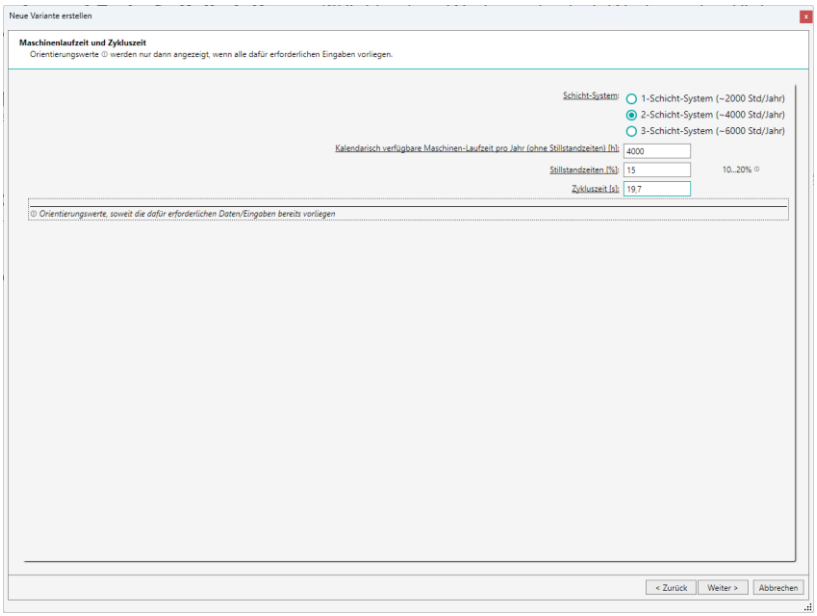


Abbildung 21: Wizard: Maschinenlaufzeit und Zykluszeit

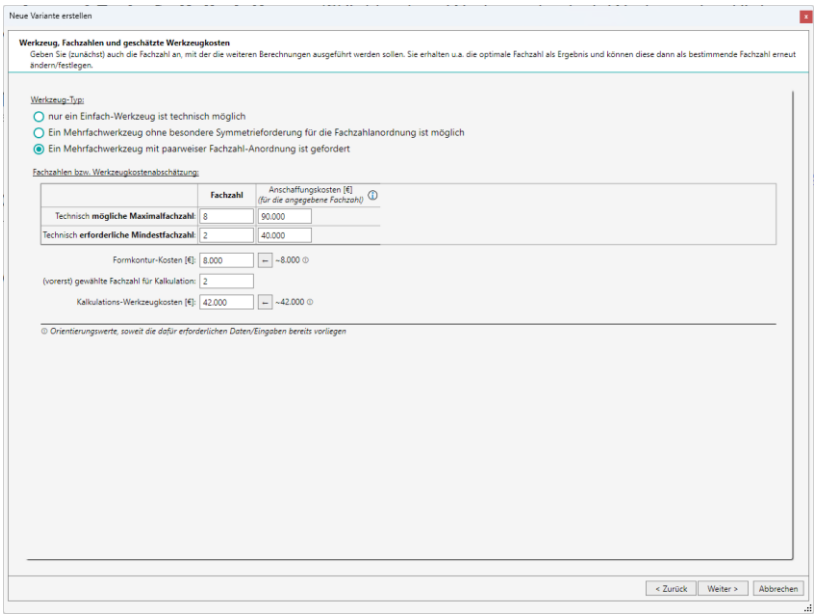


Abbildung 22: Wizard: Werkzeug, Fachzahlen und Werkzeugkosten

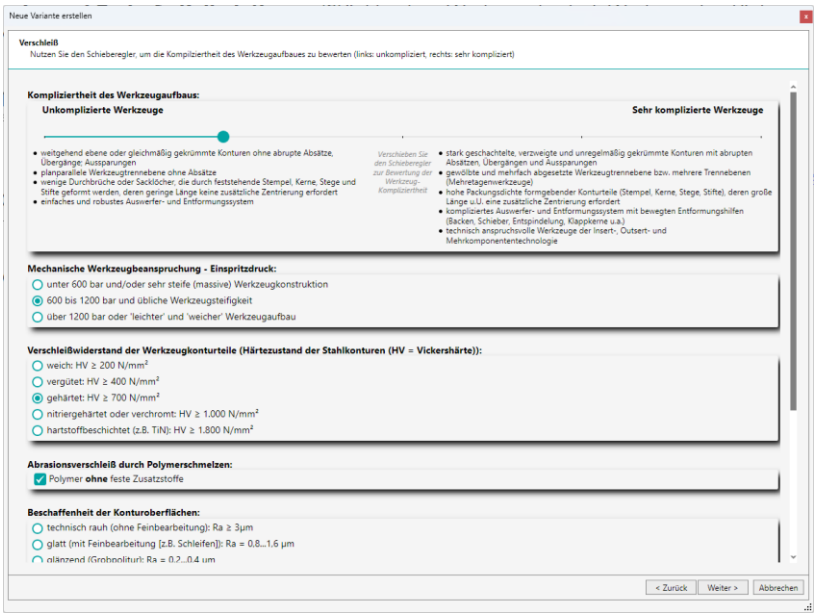


Abbildung 23: Wizard: Verschleiß (Werkzeugaufbau und -beanspruchung)

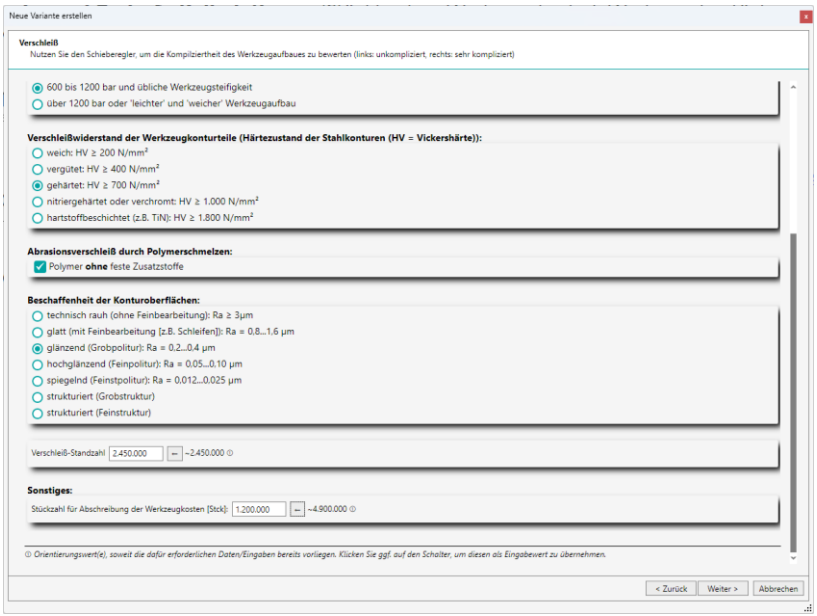


Abbildung 24: Wizard: Konturoberfläche, Standzahl und Abschreibung

4.2 Fertigungs-, Material- und QS-Kosten

Fertigungs-, Material- und QS-Kosten erfasst der Wizard nicht. Klicken Sie nach dem Fertigstellen in der Variante beim Abschnitt **„Fertigungs-, Material- und QS-Kosten“** auf den Stift:

- **Material-Kosten:** Fertigteilmasse, Materialverrechnungs-Preis, Angussabfall (Einfach- oder Mehrfach-Anschnitt) und Materialverlust-Zuschlag.
- **Fertigungs-Kosten:** Einmaschinen- oder Mehrmaschinen-Bedienung, Anzahl der betreuten Maschinen, Auswahl des **Maschinenstundensatzes** (Stundensatz 1 … 3 mit unterschiedlichen Kostenanteilen oder eigene Berechnung) und Arbeitszeit-Kostensatz.
- **QS-Kosten:** Qualitätssicherungs-Zuschlag.

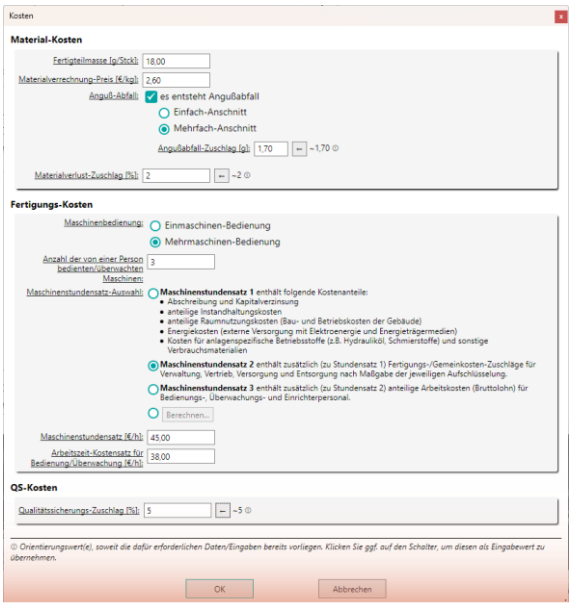


Abbildung 25: Material-, Fertigungs- und QS-Kosten

4.3 Ergebnisse und Variantenvergleich

Jede Variante steht in einer eigenen Spalte. Im oberen Bereich **„Ergebnisse, Orientierungswerte und Stückkosten-Verteilung“** finden Sie:

- **Ergebnis-Übersicht:** verfügbare Maschinenlaufzeit, optimale/verschleißbedingte/fertigungsbedingte/wirtschaftliche Fachzahl, Maschinenbelegungszeiten pro Jahr, Werkzeugbedarf, Maschinenstundensatz, Material-, Fertigungs-, QS- und Werkzeugkosten je Stück, **Gesamt-Stückkosten** und wirtschaftliche Losgröße.
- **Stückkosten-Verteilung:** Kreisdiagramm der Kostenanteile.
- **Eingaben vs. Orientierungswerte:** Vergleich Ihrer Eingaben mit den Orientierungswerten.

Eine weitere Variante legen Sie über **„Varianten“ → „neue Variante hinzufügen“**, über den Wizard oder mit dem Kopier-Symbol in der Leiste einer Variante an. Im Beispiel kostet ein Teil mit dem 2-fach-Werkzeug 0,271 €, mit dem 4-fach-Werkzeug 0,204 €.

Eine **neue leere Variante** enthält keine Eingaben, eine Variante **per Wizard** wird Schritt für Schritt erfasst, und eine **Kopie** übernimmt sofort alle Eingaben der kopierten Variante. Bearbeiten Sie bei einer Kopie gleich danach Bezeichnung und Hintergrundfarbe (Abschnitt **„Allgemeines / Farbe“**), damit sich die Varianten unterscheiden lassen. Eine Variante löschen Sie nach einer Sicherheitsabfrage; enthält das Projekt keine Variante mehr, können Sie im leeren Fenster direkt eine neue anlegen.

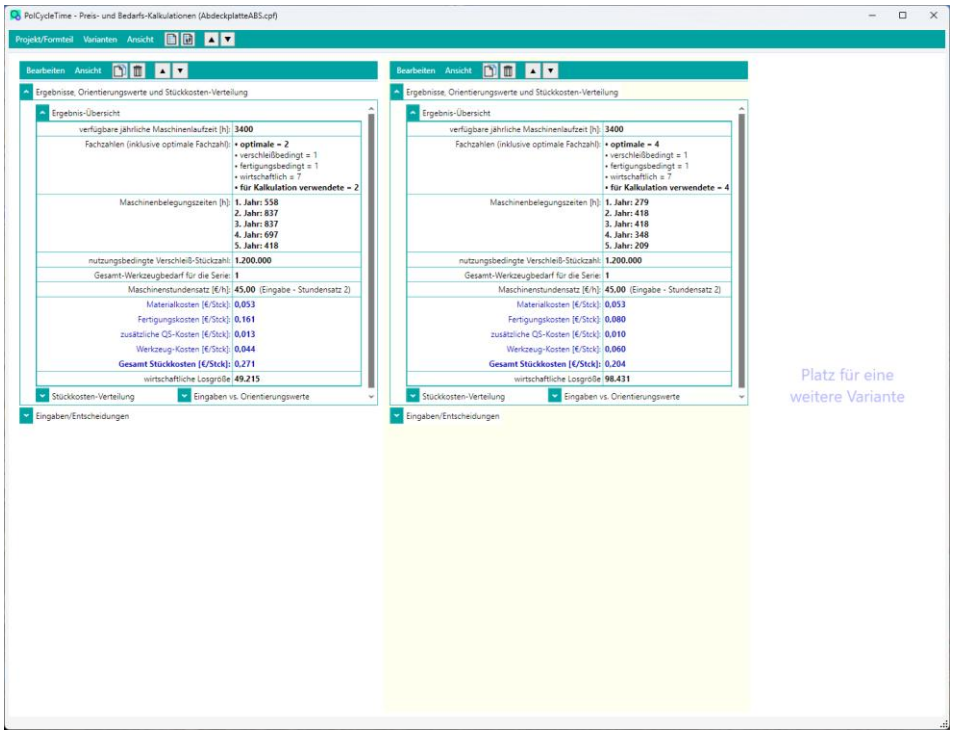


Abbildung 26: Ergebnis-Übersicht zweier Varianten

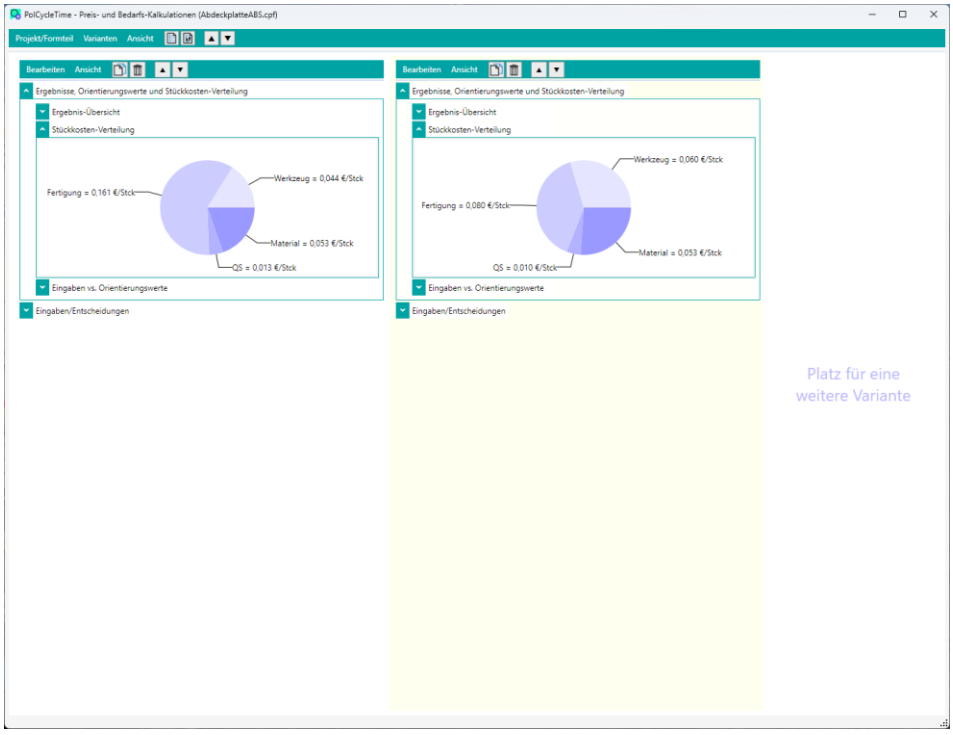


Abbildung 27: Stückkosten-Verteilung beider Varianten

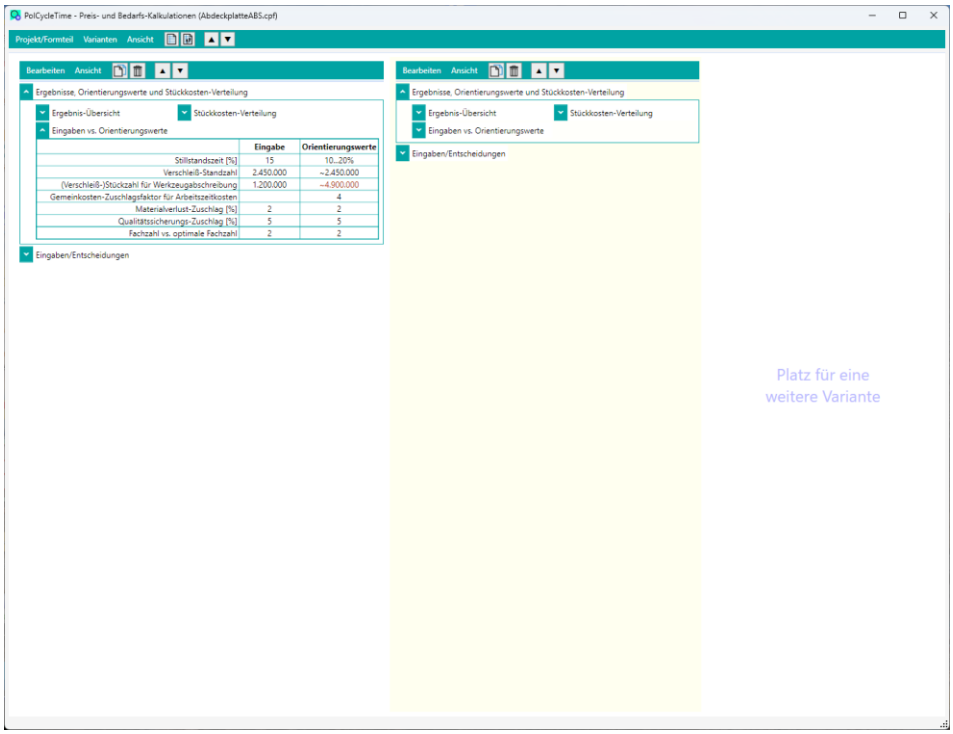


Abbildung 28: Eingaben im Vergleich zu den Orientierungswerten

In der Ansicht **„Eingaben vs. Orientierungswerte“** sind Orientierungswerte rot markiert, wenn sie von Ihrer Eingabe abweichen. So erkennen Sie schnell, wo Ihre Annahmen von den rechnerischen Erwartungswerten abweichen.

Im unteren Bereich **„Eingaben/Entscheidungen“** sind alle Eingaben der Variante zusammengefasst; jeder Abschnitt lässt sich mit dem Stift oder über das Menü **„Bearbeiten“** der Variante bearbeiten. Eine rote Abschnittsüberschrift zeigt fehlende oder fehlerhafte Eingaben; ist auch die übergeordnete Überschrift **„Eingaben/Entscheidungen“** rot, fehlt in irgendeinem Abschnitt noch etwas. Mit den Pfeilen in der Leiste verschieben Sie Varianten, mit dem Papierkorb löschen Sie eine Variante.

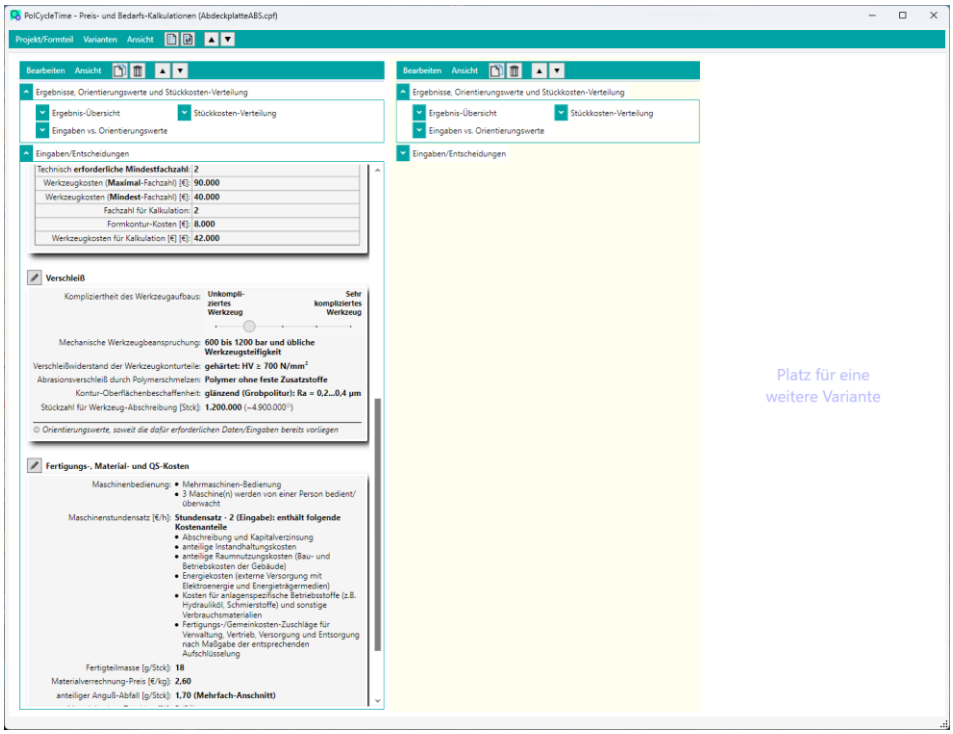


Abbildung 29: Eingaben/Entscheidungen einer Variante

4.4 Basisdaten und Drucken

Über **„Projekt/Formteil“ → „Basisdaten bearbeiten…“** erfassen Sie Projekt-/Formteilbezeichnung, Bearbeiter und Beschreibung. **„Drucken/Druckvorschau…“** erstellt den Bericht; oben wählen Sie die **Variante**, die gedruckt werden soll.

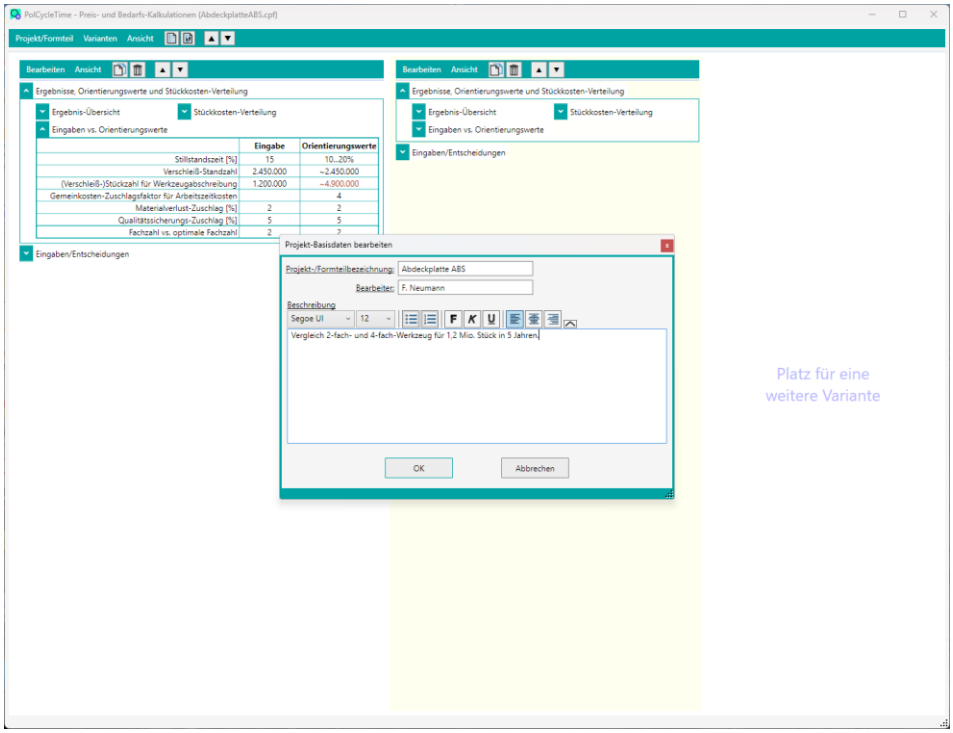


Abbildung 30: Projekt-Basisdaten bearbeiten

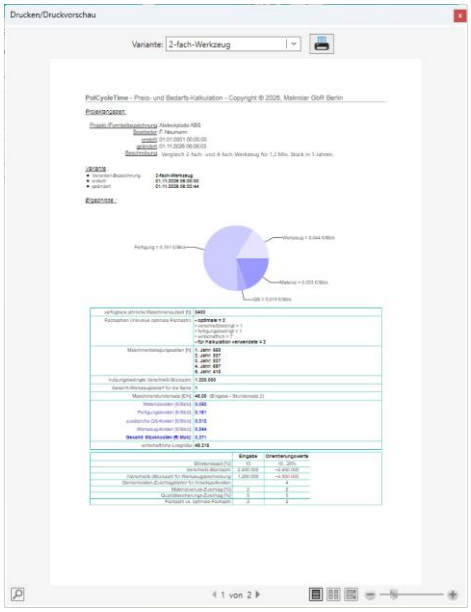


Abbildung 31: Druckvorschau einer Variante

> **Hinweis:** Das Menü **„Ansicht“** des Kalkulationsfensters klappt die Gruppen aller Varianten gemeinsam auf oder zu.

5 Berechnung von Konditionierzeiten

Formteile aus Polyamid sind nach dem Spritzgießen nahezu trocken und deshalb spröde. Durch Konditionieren (Lagern in feuchter, warmer Umgebung) nehmen sie Wasser auf, bis sie die Gebrauchsfeuchte erreichen. Das Modul berechnet die dafür erforderliche Zeit. Beispiel: **Gleitlagerbuchse aus schlagzähem PA66** mit 3 mm Wanddicke für den Einsatz im Freien.

5.1 Hintergrund und Berechnungskonzept

Mit steigendem Wassergehalt ändern sich anwendungsbestimmende Eigenschaften der Kunststoffe:

- 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 bis zur Sättigung ist sehr unterschiedlich: Für unpolare Kunststoffe (z. B. Polyolefine) ist sie oft vernachlässigbar, für polare Kunststoffe wie Polyamide muss sie berücksichtigt werden. Die gewünschte Wasserkonzentration wird dann durch Konditionieren eingebracht. Diffusionsvorgänge in kompakten Feststoffen verlaufen viel langsamer als Wärmeleitung, und die Konditionierzeit wächst quadratisch mit der Querschnittsdicke. Deshalb wird meist in temperaturgeregelten Warmwasserbädern (40 °C bis 90 °C) oder in Sattdampfdruckanlagen (über 100 °C) konditioniert.

Die Konditioniertemperatur ist mit der thermischen Stabilität des Kunststoffs abzustimmen. Je nach Zusatzstoffen und fertigungsbedingter Struktur (z. B. Kristallisationsgrad) können kurze, aggressive Konditionierprozesse Verfärbungen, Belag, Verzug oder Risse verursachen; schonender ist die Konditionierung mit warmfeuchtem Klima in Klimaanlagen.

Berechnungskonzept. Die instationäre Wasserdampfdiffusion wird mit demselben mathematischen Formalismus beschrieben wie die instationäre Wärmeleitung: Konzentrationsfelder werden wie Temperaturfelder berechnet, wobei die Temperaturleitzahl durch den Diffusionskoeffizienten ersetzt wird. An der Teileoberfläche wird immer eine gesättigte Wasserdampfschicht vorausgesetzt, der Stoffübergangswiderstand ist damit vernachlässigbar. Vorausgesetzt ist ein rein diffusionsbestimmter Stofftransport; kapillare Vorgänge durch Porosität werden nicht berücksichtigt. Kunststoffe mit großen Anteilen fester Zusatzstoffe (z. B. über 50 Vol.-%) erfüllen diese Bedingung wegen mangelhafter Bindung zwischen Matrix und Zusatzstoff u. U. nicht. Grundlage ist die Lösung nach Jouwersma (Die Diffusion von Wasser in Kunststoffe, Chemie-Ing.-Techn. 31 (1959) 10, S. 652–658).

5.2 Eingaben

- **Kunststoff:** Polyamid aus der Liste oder über das Werkstoffauswahlfenster **„…“**, auch eigene Werkstoffe (Abschnitt 5.4; sie werden in der Auswahl kursiv dargestellt). Das Programm zeigt die Wassersättigungs-Konzentration (PA66-HI: 7,9 %).
- **Kunststoff-Bezeichnung:** freier Text für den Ausdruck.
- **Konditionier- bzw. Anwendungsbedingung:** Bei **Raumklima** wählen Sie die Umgebung aus einer Liste, z. B. vollklimatisiert, geheizt und gelüftet, frostfreier feuchter Raum oder wettergeschützter Außenraum. Bei **Freiluftklima** öffnet **„Klimazone auswählen/ändern…“** eine Weltkarte der Klimazonen (Reiter **Kontinentalklima** und **Meeresklima**).

- **gewünschter/mittlerer Wassergehalt:** Der Orientierungswert für die gewählte Bedingung lässt sich mit **„←“** übernehmen (im Beispiel 1,6 %).
- **Konditionier-Temperatur** und **Anfangs-Wassergehalt** (0 % bei Konditionierung unmittelbar nach der Fertigung).
- **Teil-Geometrie(n):** über **„Hinzufügen…“**, wie bei der Kühlzeitberechnung (Abschnitt 3.5).

Auf der Karte bewegen Sie den Mauszeiger auf die Farbfläche der gewünschten Klimazone (die Lupe vergrößert den Bereich unter dem Zeiger) und wählen sie per **Doppelklick**. Anschließend zeigt das Programm die gewählte Klimazone und die absolute Luftfeuchte am Basispunkt an. Im Beispiel: „winterkaltes gemäßigtes Klima“ mit 4 g/m³.

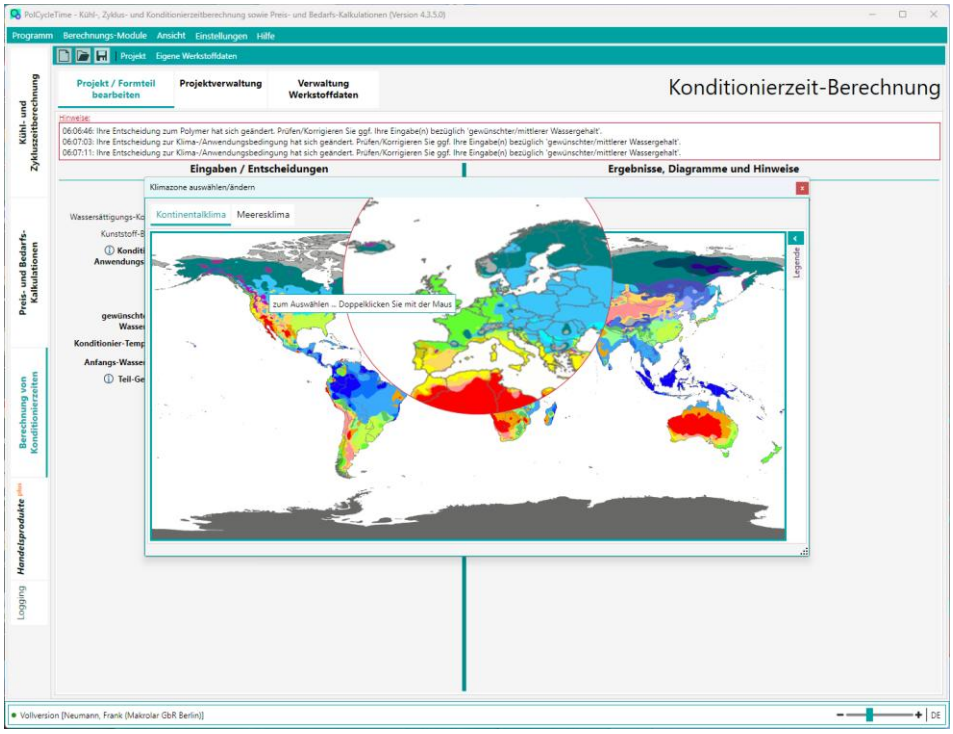


Abbildung 32: Klimazone auf der Weltkarte auswählen

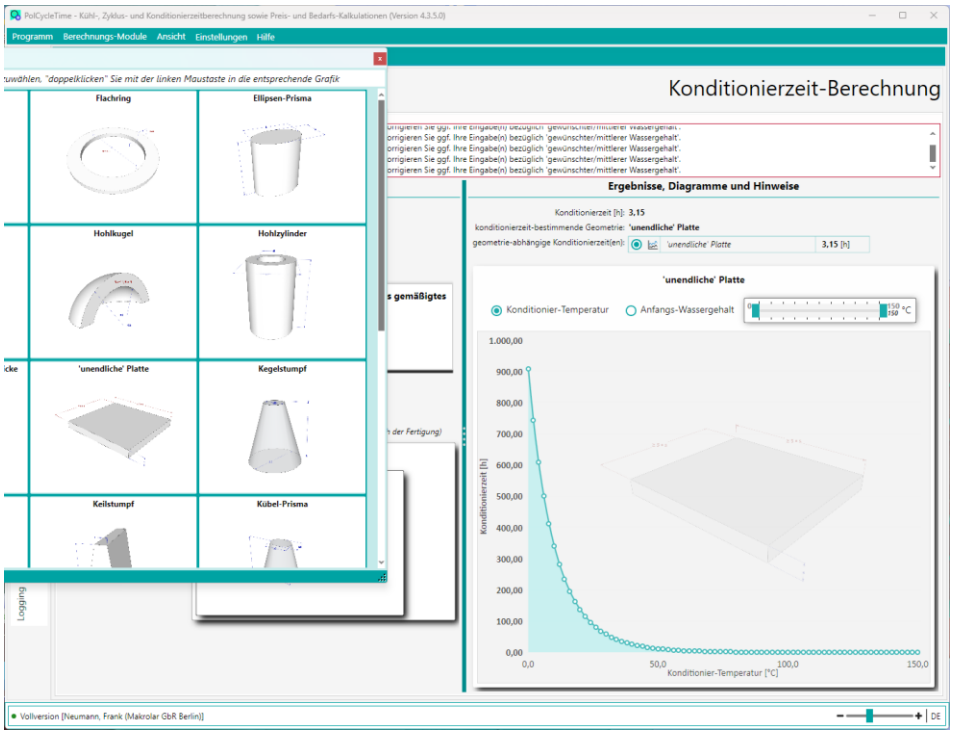


Abbildung 33: Teil-Geometrien für die Konditionierung

5.3 Ergebnisse und Diagramm

Rechts erscheinen die **Konditionierzeit**, die **konditionierzeit-bestimmende Geometrie** und die Zeiten der einzelnen Geometrien. Im Beispiel dauert die Konditionierung bei 70 °C **3,15 Stunden**.

Das Diagramm zeigt die Konditionierzeit in Abhängigkeit von der **Konditionier-Temperatur** oder vom **Anfangs-Wassergehalt**; den Bereich der X-Achse stellen Sie mit dem Schieberegler ein. So erkennen Sie z. B., dass eine höhere Temperatur die Konditionierzeit stark verkürzt.

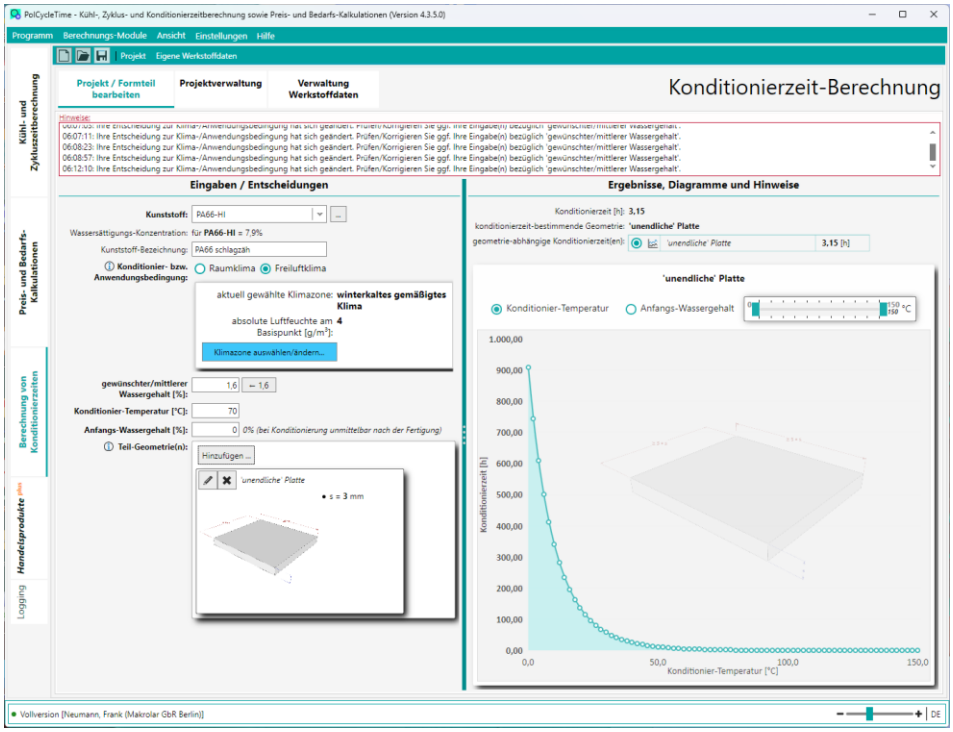


Abbildung 34: Eingaben, Ergebnisse und Diagramm der Konditionierzeit

Hinweis: Die Hinweisliste oben meldet, wenn eine geänderte Entscheidung andere Eingaben betrifft (z. B. „Ihre Entscheidung zum Polymer hat sich geändert. Prüfen/Korrigieren Sie ggf. Ihre Eingabe(n) bezüglich gewünschter/mittlerer Wassergehalt.“).

5.4 Projektverwaltung und eigene Werkstoffdaten

Projektangaben, Speichern und Drucken funktionieren wie in Kapitel 3. Unter **„Verwaltung Werkstoffdaten“** bzw. **„Eigener Werkstoffdaten“** legen Sie eigene Polyamide an: Bezeichnung, Wassersättigungs-Konzentration, Basisdiffusionskoeffizient bei 23 °C, Aktivierungsenergie und ein Kommentar zur Quelle. Für Wassersättigungs-Konzentration und Basisdiffusionskoeffizient steht im Eingabefenster eine zusätzliche Hilfsberechnung zur Verfügung.

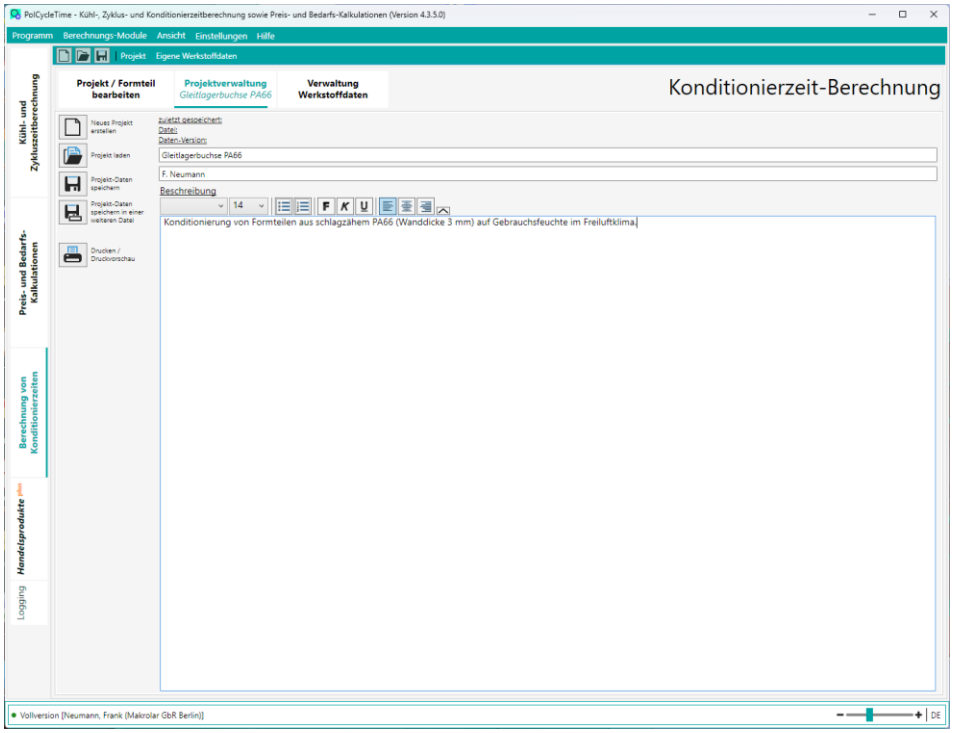


Abbildung 35: Projektverwaltung der Konditionierzeit-Berechnung

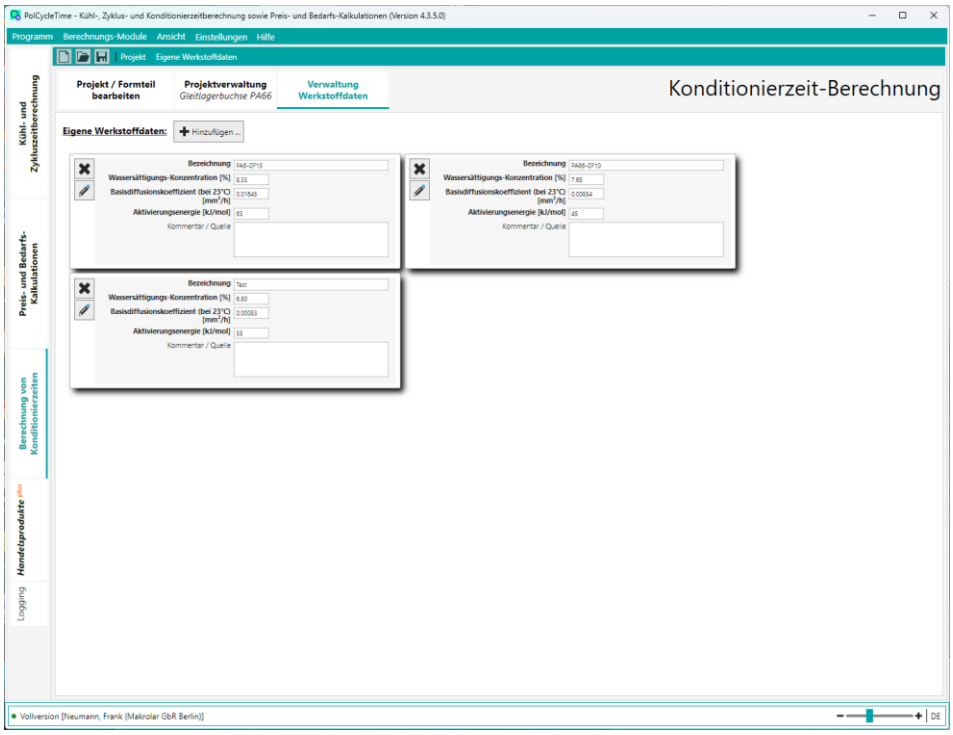


Abbildung 36: Eigene Werkstoffdaten für die Konditionierung

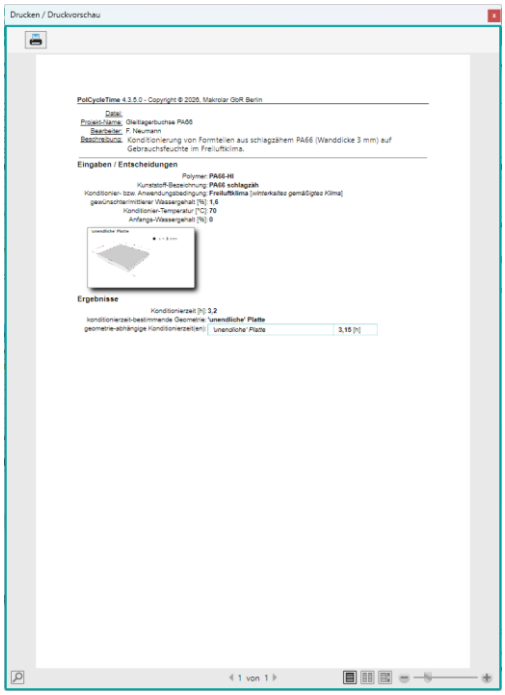


Abbildung 37: Druckvorschau der Konditionierzeit-Berechnung

6 Berechnungs-Module

Das Menü **„Berechnungs-Module“** enthält die Hilfsberechnung **„Dichte der Schmelze…“**. Wählen Sie ein **Polymer** und fügen Sie mit **„+“** bei Bedarf Zusatzstoffe mit ihrem Massenanteil hinzu. PolCycleTime zeigt das spezifische Volumen der Polymerschmelze und berechnet die **Dichte der Schmelze**. Beispiel: (ABS+PC) mit 20 % Glasfasern → 1,096 g/cm³.

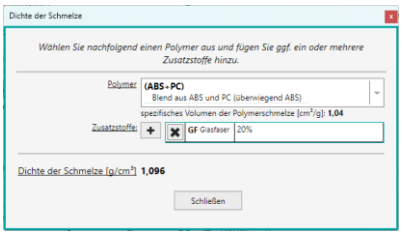


Abbildung 38: Berechnungs-Modul „Dichte der Schmelze“

Verwendet werden das spezifische Volumen der Polymerschmelze und die Dichten der Zusatzstoffe aus der internen Datenbank. Dieselbe Berechnung steht in der Verweilzeitberechnung (Abschnitt 3.8) über die Schaltfläche **„…“** neben der Dichte zur Verfügung.

7 Menüs

Menü	Befehle
Programm	**Programm beenden**; **Info über…**
Berechnungs-Module	**Dichte der Schmelze…** (Kapitel 6)
Ansicht	Wechsel zwischen **Kühl- und Zykluszeitberechnung**, **Preis- und Bedarfs-Kalkulationen**, **Berechnung von Konditionierzeiten** und **Handelsprodukte**; **Originalgröße (100 %)**; **Ergebnisse-Änderungs-Ansicht**.
Einstellungen	**Server-Verbindung…**; **Lizenz aktivieren…**; **Lizenz zurücksetzen…**; **Optionen…**; **Language/Sprache…**
Hilfe	**auf Software-Update prüfen…**; **zu unserer Internetseite…**; **für die Software registrieren…**; **Online-Hilfen anzeigen**; lokale Hilfe zu den Modulen **Kühl- und Zykluszeit** (F1) und **Preis- und Bedarfskalkulation** (F2) sowie zur Handelsprodukte-Datenbank.
Projekt (Modulleiste)	**Neues Projekt erstellen…**, **Projekt laden…**, **Projekt speichern**, **Projekt speichern unter…**, **Drucken / Druckvorschau…**
Extras (Zykluszeit)	**Verweilzeitberechnung**
eigene Daten (Zykluszeit)	**Polymer hinzufügen…**, **Zusatzstoff hinzufügen…**, **SG-Maschine hinzufügen…**
Projekt/Formteil, Varianten, Ansicht (Kalkulation)	**Basisdaten bearbeiten…**, **Drucken/Druckvorschau…**; **neue Variante hinzufügen**, **neue Variante (Wizard)…**; Gruppen aller Varianten öffnen/schließen.

8 Tipps und häufige Fragen

Frage	Antwort
Warum wird keine Zykluszeit angezeigt?	Es fehlen noch Eingaben. Rot markierte Abschnittstitel zeigen, wo etwas fehlt; häufig sind es noch unentschiedene Kontrollkästchen (gefülltes Quadrat).
Welche Geometrie muss ich eingeben?	Alle Bereiche, die die Kühlzeit bestimmen können: die dickste Wand des Formteils und dicke Angussquerschnitte. Das Programm wählt die längste Kühlzeit.
Wie übertrage ich die Zykluszeit in die Kalkulation?	Tragen Sie den berechneten Wert im Varianten-Wizard bzw. im Abschnitt „Maschinenlaufzeit und Zykluszeit“ ein.

Frage	Antwort
Wie vergleiche ich Werkzeugvarianten?	Kopieren Sie eine Variante, ändern Sie Fachzahl und Werkzeugkosten und vergleichen Sie die Gesamt-Stückkosten nebeneinander.
Was bedeuten die Werte mit ⓘ?	Das sind Orientierungswerte aus Ihren übrigen Eingaben. Mit „←“ übernehmen Sie sie.
Wie genau ist die berechnete Kühlzeit?	Für die thermodynamischen Formmassedaten werden Abweichungen von maximal ± 10 % auf die Kühlzeit erwartet (Abschnitt 3.11). Für die Zykluszeitminimierung empfiehlt sich zusätzlich eine Optimierung unter Produktionsbedingungen.
Mein Werkstoff fehlt in der Liste.	Legen Sie ihn als eigenes Polymer bzw. eigene Werkstoffdaten an (Abschnitte 3.9 und 5.4).