PolPartDesign

Tools für Entwicklung und Konstruktion von Kunststoffteilen

Benutzerhandbuch

Schnappverbindungen · Zahnrad-Berechnungen · Kunststoffbehälter

Beschrieben anhand von PolPartDesign 3.2.3.1 · Stand: Oktober 2026

Makrolar GbR Berlin

Inhalt

Inhalt ... 2
1 Einleitung ... 3
2 Programmoberfläche ... 3
3 Schnappverbindungen ... 4
3.1 Neues Projekt anlegen ... 4
3.2 Geometriedaten eingeben ... 5
3.3 Querschnitt wählen ... 6
3.4 Rastelement ... 7
3.5 Sonstige Eingaben und Werkstoffdaten ... 8
3.6 Hilfsberechnungen ... 9
3.7 Ergebnisse und Verlaufs-Diagramme ... 11
3.8 Besondere Hinweise ... 11
3.9 Speichern und Drucken ... 12
4 Zahnrad-Berechnungen ... 12
4.1 Neues Projekt anlegen ... 13
4.2 Ergebnisse und Hinweise ... 16
4.3 Projekt-Menü und Projektangaben ... 18
4.4 Datenverwaltung und eigene Kunststoffe ... 19
5 Berechnung zylindrischer Kunststoffbehälter ... 20
5.1 Neues Projekt anlegen ... 21
5.2 Basisdaten und Temperatur-/Belastungsschema ... 21
5.3 Werkstoffdaten ... 22
5.4 Ergebnisse ... 23
5.5 Speichern und Drucken ... 24
6 Berechnungs-Module ... 25
6.1 E-Module berechnen ... 25
6.2 Zulässige Dehnung berechnen ... 25
6.3 Wärmeeindringzahl berechnen ... 26
7 Menüs ... 26
8 Tipps und häufige Fragen ... 27

1 Einleitung

PolPartDesign unterstützt Sie bei der Auslegung typischer Konstruktionselemente aus Kunststoff. Die Software enthält drei Berechnungsmodule, die Sie über die Register am linken Fensterrand erreichen:

- **Schnappverbindungen:** Dehnung, Füge- und Lösekraft für 12 Verbindungsarten bzw. Federelemente – Biegefedern, Torsionsfedern, Kugel- und Zylinderschnappverbindungen – mit verschiedenen Rastelementen und Querschnitten (Kapitel 3).
- **Zahnrad-Berechnungen:** Tragfähigkeit von Kunststoff-Stirnradgetrieben in Anlehnung an DIN 3990 (Kapitel 4).
- **Berechnung zylindrischer Kunststoffbehälter:** Mindestwanddicke und Festigkeitsnachweis stehender Behälter mit Flüssigkeitsfüllung (Kapitel 5).

Zusätzlich enthält das Menü **„Berechnungs-Module“** drei eigenständige Hilfsberechnungen für E-Modul, zulässige Dehnung und Wärmeeindringzahl (Kapitel 6).

Jedes Modul arbeitet mit eigenen **Projekten**. Ein Projekt enthält alle Eingaben einer Berechnung, kann gespeichert, wieder geladen und als Bericht gedruckt werden. Die Ergebnisse werden bei jeder Änderung sofort neu berechnet.

> **Hinweis:** Die Register **„Handelsprodukte plus“** und **„Logging“** sind in diesem Handbuch nicht beschrieben. Für die Handelsprodukte gibt es ein eigenes Handbuch.

2 Programmoberfläche

Das Hauptfenster ist bei allen Modulen gleich aufgebaut. Die Abbildung zeigt das Modul **Schnappverbindungen** mit geöffneter **Projektverwaltung**.

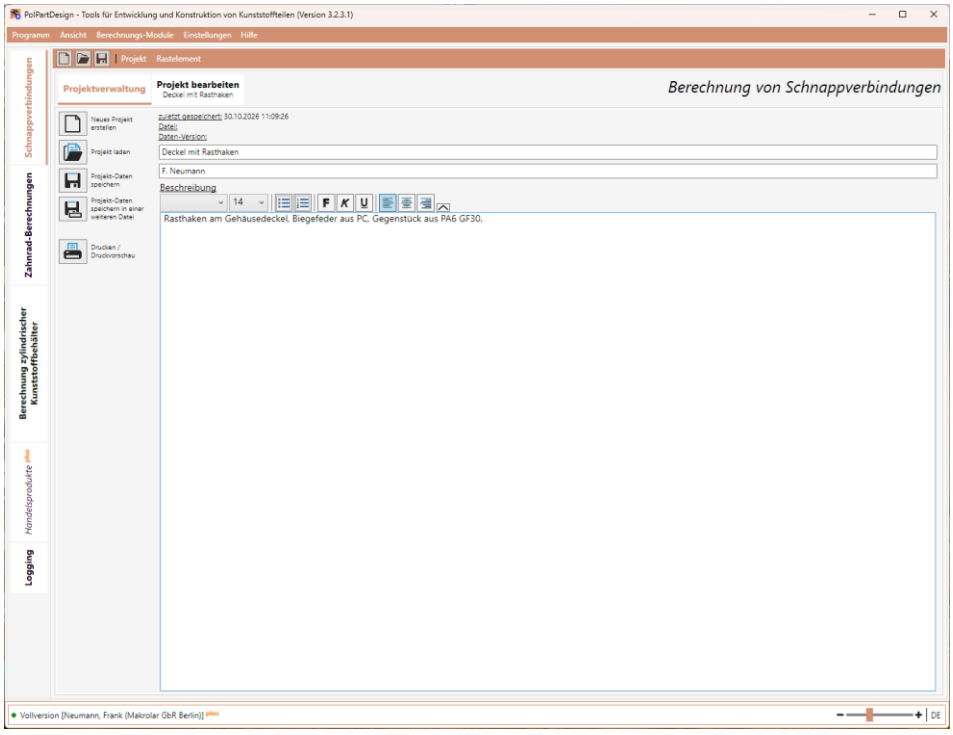


Abbildung 1: Hauptfenster mit Projektverwaltung (Modul Schnappverbindungen)

Element	Bedeutung

Element	Bedeutung
Menüleiste	**„Programm“**, **„Ansicht“**, **„Berechnungs-Module“**, **„Einstellungen“** und **„Hilfe“** (Kapitel 7).
Register am linken Rand	Wechsel zwischen den Modulen **Schnappverbindungen**, **Zahnrad-Berechnungen** und **Berechnung zylindrischer Kunststoffbehälter**.
Modulleiste (oben)	Symbole **Neu**, **Öffnen** und **Speichern** sowie die Menüs des Moduls (z. B. **„Projekt“**, **„Rastelement“** oder **„Datenverwaltung“**).
Projektverwaltung	Neues Projekt anlegen, Projekt laden, speichern, unter neuem Namen speichern und drucken. Rechts davon stehen Speicherzeitpunkt, Datei, **Projekt-Bezeichnung**, **Bearbeiter** und eine formatierbare **Beschreibung**.
Projekt bearbeiten	Eingaben und Ergebnisse des geöffneten Projekts; unter dem Reiter steht der Projektname.
Statusleiste	Lizenzstatus, Zoom-Regler und Sprache der Oberfläche („DE“).

> **Tipp:** Projektbezeichnung, Bearbeiter und Beschreibung erscheinen im Kopf des Ausdrucks. Füllen Sie sie in der **Projektverwaltung** aus, bevor Sie drucken.

3 Schnappverbindungen

Das Modul berechnet für eine Schnappverbindung die maximale Dehnung des Federelements sowie die Füge- und Lösekraft. Als durchgängiges Beispiel dient ein **Gehäusedeckel mit Rasthaken**: Biegefeder aus PC mit Rechteckquerschnitt 8 × 1,6 mm, Trapezraste, Gegenstück aus PA6 GF30.

Schnappverbindungen sind eine Verbindungstechnik für eine schnelle und einfache Montage ohne zusätzliche Verbindungselemente wie Schrauben oder Nieten. Sie bestehen in der Regel aus zwei Teilen, die durch einfaches Zusammendrücken gefügt werden: Ein elastisches Federelement wird beim Fügen ausgelenkt und rastet hinter einem Hinterschnitt ein. Je nach Lösewinkel ist die Verbindung lösbar oder unlösbar. Maßgebend für die Auslegung sind die maximale Randfaserdehnung des Federelements, die mit der zulässigen Dehnung des Werkstoffs verglichen wird, sowie die Füge- und die Lösekraft.

3.1 Neues Projekt anlegen

Klicken Sie in der **Projektverwaltung** auf **„Neues Projekt erstellen“** und bestätigen Sie die Sicherheitsabfrage. Der Assistent führt Sie in drei Schritten durch die Grundeinstellungen.

1. **Verbindungsart / Verbindungsprinzip:** Wählen Sie das Federelement, im Beispiel **„Biegefeder (gleichbleibende Querschnittsmaße)“**. Zur Auswahl stehen u. a. ein- und zweiseitige Torsionsfedern, Biegefedern mit abnehmender Höhe oder Breite, mit Absätzen, abgewinkelt oder gekrümmt sowie Kugel- und geschlitzte Zylinderschnappverbindungen.
2. **Art des Rastelements: Trapezraste**, **Dreiecksraste**, **Rasthaken** oder **Wulstraste**.
3. **Werkstoff-Kombination und Projektangaben: Kunststoff/Metall**, **gleiche Kunststoffe** oder **unterschiedliche Kunststoffe**; dazu **Projekt-Bezeichnung** und **Bearbeiter**.
4. Klicken Sie auf **„Weiter“** und im letzten Schritt auf **„Fertigstellen“**.

> **Wichtig:** Die **Verbindungsart** bzw. das Federelement ist die Basis eines Projekts und lässt sich nachträglich nicht ändern. Für eine andere Verbindungsart legen Sie ein neues Projekt an. Alle übrigen Angaben aus dem Assistenten können Sie später in der Projektansicht ändern; Sie können den

Assistenten auch jederzeit mit **„Weiter“** und **„Fertigstellen“** durchlaufen und die Angaben erst dort ergänzen.

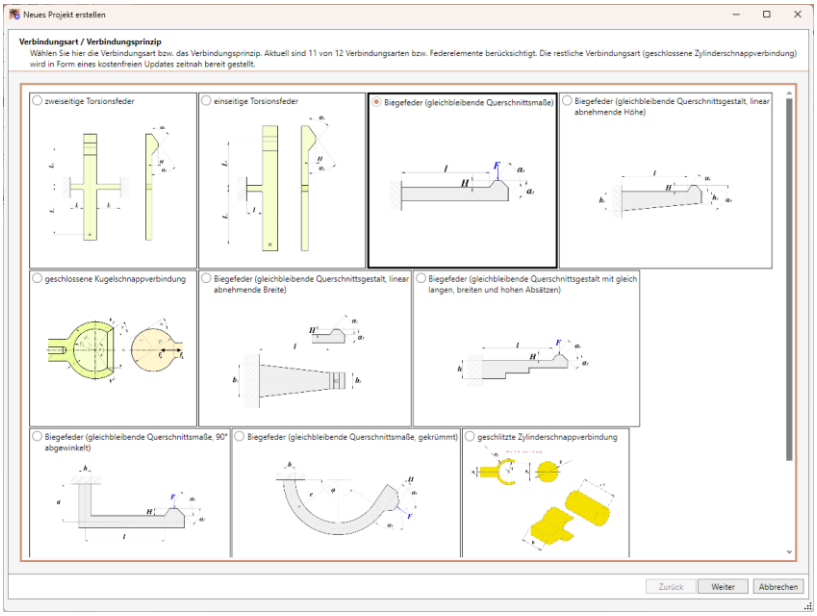


Abbildung 2: Assistent: Verbindungsart wählen

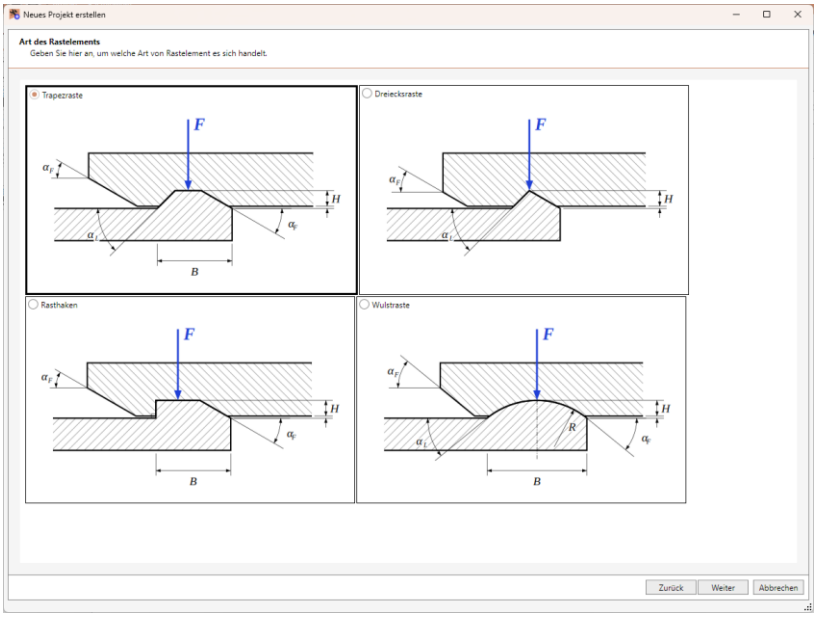


Abbildung 3: Assistent: Art des Rastelements

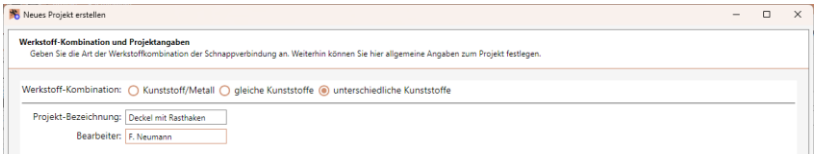


Abbildung 4: Assistent: Werkstoff-Kombination und Projektangaben

3.2 Geometriedaten eingeben

Nach dem Assistenten öffnet sich **„Projekt bearbeiten“**. Links stehen die Eingaben in vier aufklappbaren Abschnitten, rechts die **Hinweise**, **Ergebnisse** und **Verlaufs-Diagramme**. Solange Angaben fehlen, nennt der Bereich **„Hinweise“**, was noch einzugeben ist.

Im Abschnitt **„Geometriedaten (Federelement / Verbindungsart)“** tragen Sie die Maße direkt in die Felder der Prinzip-Skizze ein (alle Längen in mm, Winkel in Grad):

Größe	Beispiel
Federlänge **l**	20 mm
Hinterschnitt bzw. Schnapphöhe **H**	1,5 mm
Fügewinkel **αF**	30°
Lösewinkel **αL**	60°

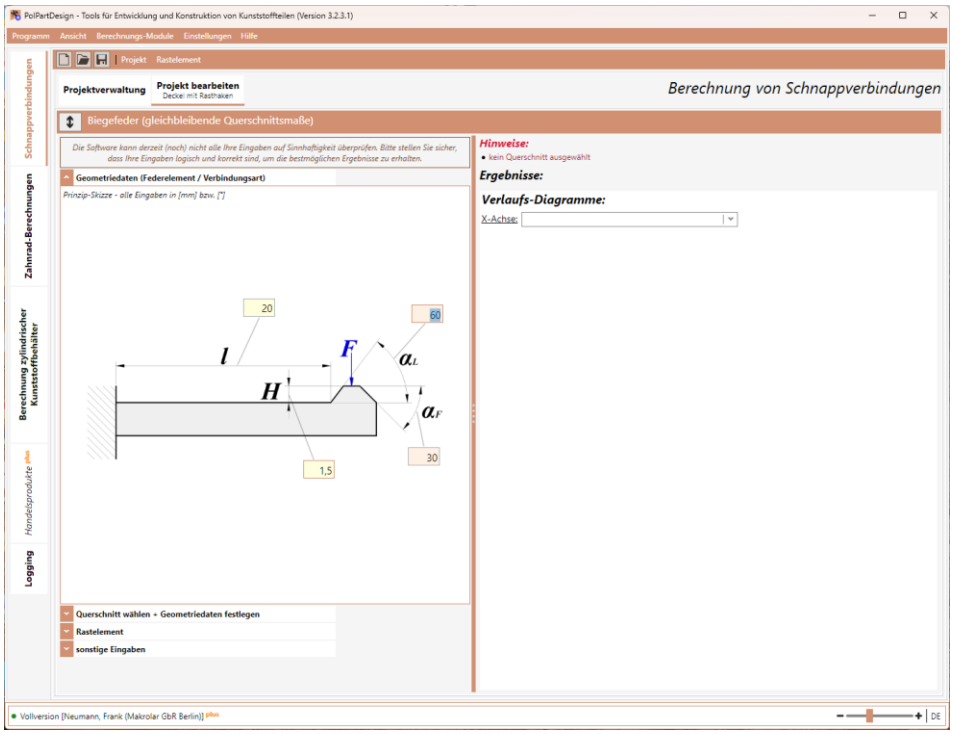


Abbildung 5: Geometriedaten in der Prinzip-Skizze

> **Hinweis:** Bei Biegefedern mit linearer Höhen- oder Breitenabnahme hängen die Querschnittsmaße mit Höhe und Breite an der Einspannstelle zusammen. Höhe bzw. Breite werden deshalb in der Prinzip-Skizze nur angezeigt und über den Querschnitt eingegeben.

3.3 Querschnitt wählen

Klappen Sie **„Querschnitt wählen + Geometriedaten festlegen“** auf und doppelklicken Sie auf die gewünschte Querschnittsform (z. B. Rechteck, Trapez, Kreisabschnitt). Im eingeblendeten Fenster geben Sie die Querschnittsmaße ein und bestätigen mit der Eingabetaste. Im Beispiel: Rechteck mit Breite a = 8 mm und Höhe h = 1,6 mm.

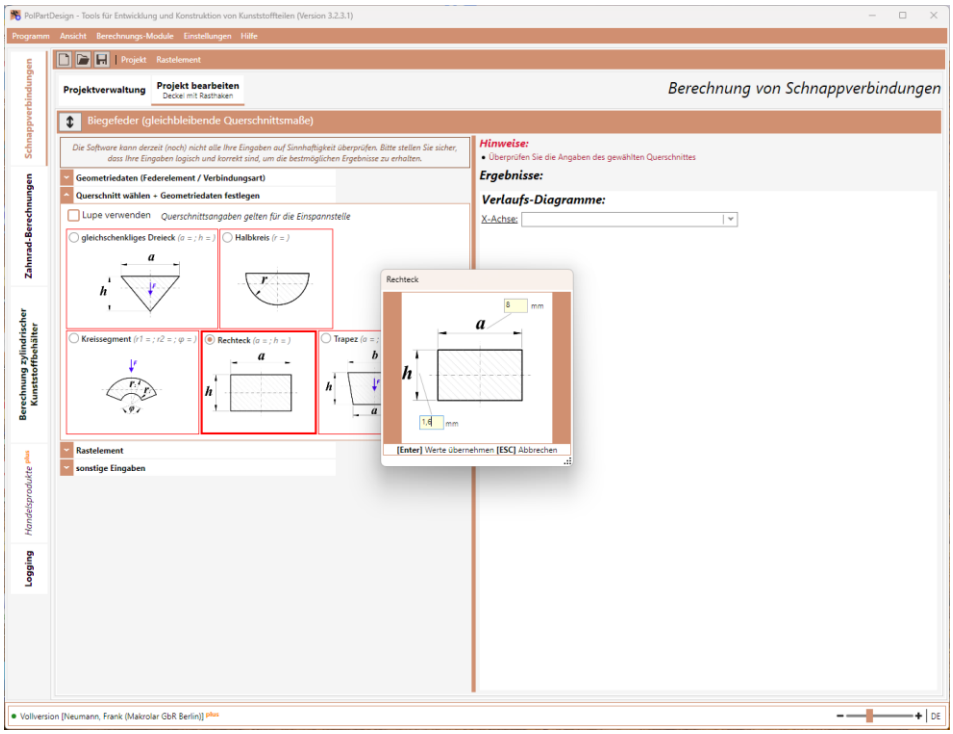


Abbildung 6: Querschnittsmaße festlegen

Welche Querschnitte zur Auswahl stehen, hängt von der Verbindungsart ab. Die Querschnittsmaße gelten jeweils an der **Einspannstelle** des Federelements. Die Eingabe im Querschnittsfenster bestätigen Sie mit der **Eingabetaste**; mit **Esc** brechen Sie sie ab.

Kippstabilität beim Rechteckquerschnitt: Ist bei einer geraden Biegefeder mit Rechteckquerschnitt die Höhe aus konstruktiven Gründen größer als die Breite, kann die Feder durch Trägerkippen instabil werden. In diesem Fall gibt PolPartDesign in den Ergebnissen zusätzlich die **Kippsicherheit** an. Übliche Sicherheitsfaktoren liegen im Bereich von 1,2 … 1,5.

3.4 Rastelement

Der Abschnitt **„Rastelement“** zeigt das gewählte Rastelement mit den üblichen Füge- bzw. Lösewinkeln. Über die Schaltfläche **„…“** oder das Menü **„Rastelement“ → „anderes Rastelement auswählen…“** wechseln Sie das Rastelement nachträglich.

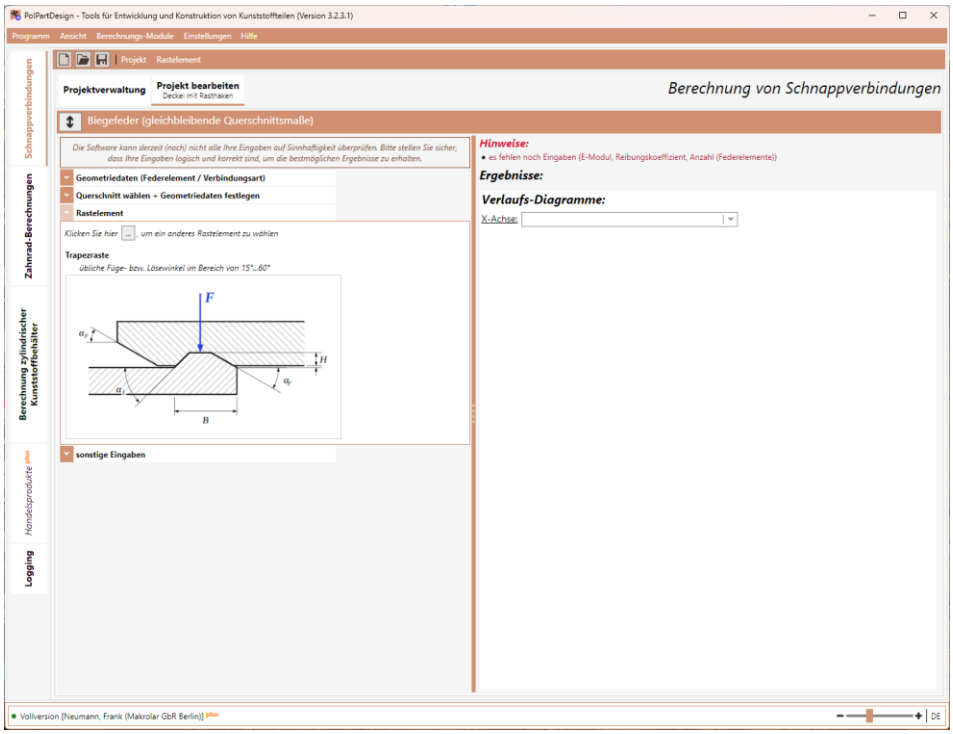


Abbildung 7: Abschnitt „Rastelement“

- Wählen Sie nachträglich ein anderes Rastelement, werden Füge- und Lösewinkel gelöscht und müssen neu eingegeben werden.
- Beim **Rasthaken** trägt das Programm automatisch einen Lösewinkel von 90° ein (unlösbare Verbindung).
- Bei der **Wulstraste** können Sie Füge- und Lösewinkel aus der Wulstgeometrie berechnen lassen und übernehmen.
- Welche Rastelemente möglich sind, hängt von der Verbindungsart ab; bei einer geschlossenen Kugelschnappverbindung ist z. B. kein Rastelement wählbar.

3.5 Sonstige Eingaben und Werkstoffdaten

Im Abschnitt **„sonstige Eingaben“** legen Sie die Werkstoff-Kombination und die Kennwerte fest:

Feld	Bedeutung
Werkstoff-Kombination	Kunststoff/Metall, gleiche oder unterschiedliche Kunststoffe; bei Kunststoffen die Bezeichnungen beider Partner (Beispiel: 1. PC, 2. PA6 GF30).
Sekanten-E-Modul der Biegefeder [N/mm²]	E-Modul bei der auftretenden Dehnung. Die Schaltfläche **„…“** öffnet eine Hilfsberechnung (Abschnitt 3.6).
Reibungs-Koeffizient	Reibwert zwischen Feder und Gegenstück, mit Hilfsberechnung **„…“**.
Anzahl gleichzeitiger Federelemente	Anzahl der gleichzeitig wirkenden Rasthaken; die Kräfte werden entsprechend vervielfacht.
zulässige Dehnung der Biegefeder [%]	Grenzwert für die Randfaserdehnung, mit Hilfsberechnung **„…“**.

Der Reibungs-Koeffizient hängt von der Werkstoff-Kombination ab. Wählen Sie deshalb zuerst die **Werkstoff-Kombination**, bevor Sie die Hilfsberechnung des Reibungs-Koeffizienten aufrufen.

3.6 Hilfsberechnungen

Für drei Kennwerte bietet PolPartDesign überschlägige Hilfsberechnungen. Mit **„Übernehmen“** wird das Ergebnis in das Eingabefeld eingetragen.

> **Hinweis:** Die Hilfsfenster merken sich die zuletzt eingegebenen Daten projektunabhängig, auch nach einem Neustart. Diese Daten werden **nicht** im Projekt gespeichert, nur das übernommene Ergebnis.

Sekanten-E-Modul: Sie geben den **E0-Modul** (Ursprungsmodul), die **Wärmeformbeständigkeits-Temperatur** und die **Füge-/Anwendungs-Temperatur** ein. PolPartDesign berechnet daraus den E-Modul bei der aktuellen maximalen Dehnung (Beispiel: E0 = 2400 N/mm², HDT 130 °C, 23 °C → 2248 N/mm²). Kennen Sie nur die Shore-Härte, öffnet **„…“** neben dem E0-Modul eine näherungsweise Umrechnung von **Shore-D** oder **Shore-A** in den Ursprungsmodul.

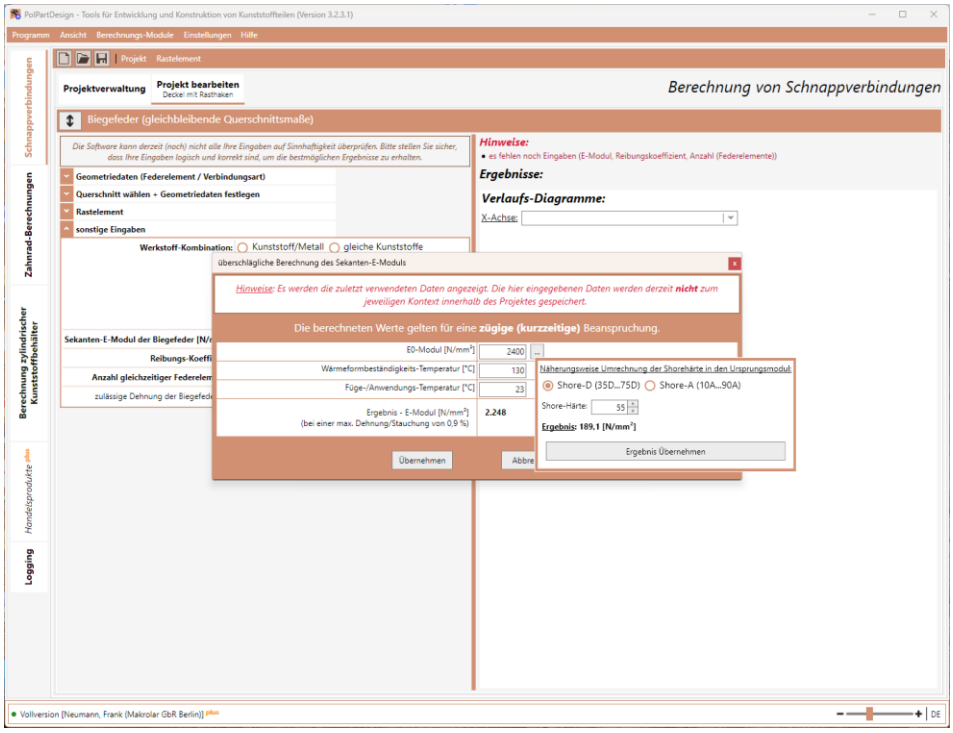


Abbildung 8: Sekanten-E-Modul mit Umrechnung der Shore-Härte

Der Sekanten-E-Modul ist der E-Modul bei der tatsächlich auftretenden Dehnung; er ist bei Kunststoffen deutlich kleiner als der Ursprungsmodul und hängt von Temperatur und Belastungsdauer ab. Für die Berechnung wird deshalb die **maximale Dehnung** benötigt, die wiederum die Geometriedaten voraussetzt. Je nach Verbindungsart sind dafür weitere Angaben nötig; ein Hinweis nennt sie gegebenenfalls. Prüfen Sie den Sekanten-E-Modul erneut, wenn Sie Geometriedaten ändern.

Reibungs-Koeffizient: Für jeden der beiden Kunststoffe wählen Sie die Werkstoffgruppe (z. B. amorphe oder teilkristalline Thermoplaste, jeweils nach Shore-Härte) und tragen einen Reibwert ein. Das Programm bildet daraus den Reibwert der Paarung (Beispiel: 0,5 und 0,3 → 0,4).

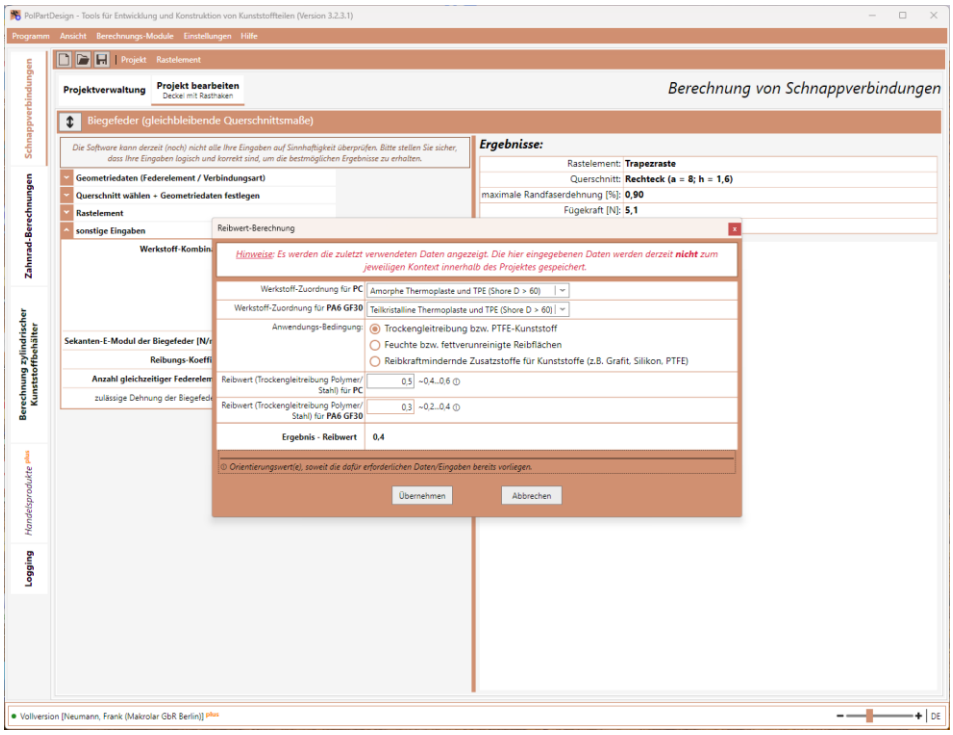


Abbildung 9: Hilfsberechnung des Reibungs-Koeffizienten

Zulässige Dehnung: Sie wählen die **Werkstoff-Deformationscharakteristik** (sprödharte, zähharte mit begrenzter Verformbarkeit, zähharte mit ausgeprägter Verstreckbarkeit oder flexible Kunststoffe) und geben **Bruch-/Streckgrenz-Dehnung**, **Wärmeformbeständigkeits-Temperatur** und die **Montage-/Demontage-Anzahl** ein. Die Werte gelten für eine zügige (kurzzeitige) Beanspruchung. Im Beispiel ergibt sich 3,81 %.

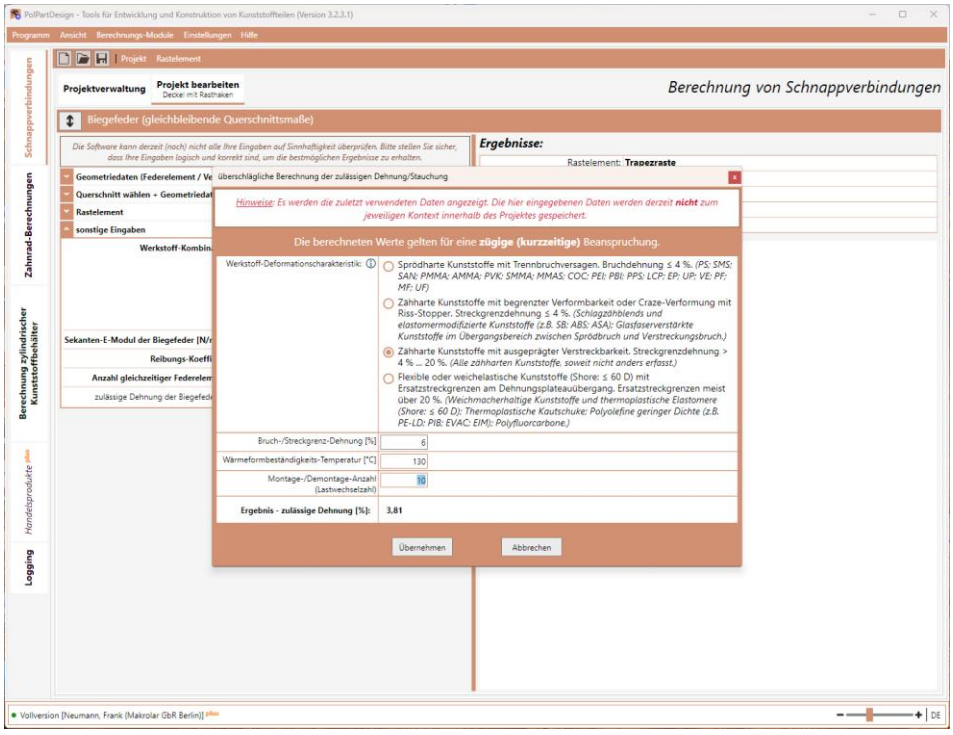


Abbildung 10: Hilfsberechnung der zulässigen Dehnung

3.7 Ergebnisse und Verlaufs-Diagramme

Sobald alle Angaben vollständig sind, zeigt der Bereich **„Ergebnisse“** Rastelement, Querschnitt, **maximale Randfaserdehnung**, **Fügekraft** und **Lösekraft**. Im Beispiel: 0,90 % Dehnung (zulässig 3,81 %), Fügekraft 5,6 N, Lösekraft 13,2 N.

Unter **„Verlaufs-Diagramme“** wählen Sie eine Größe für die **X-Achse**, z. B. **Schnapphöhe**, **Füge-Winkel**, **Löse-Winkel**, **Reibungs-Koeffizient** oder **Sekanten-E-Modul**. Mit dem Regler **„Werte-Bereich“** legen Sie den Bereich fest, mit den Kontrollkästchen blenden Sie **Fügekraft**, **Lösekraft** und **maximale Randfaserdehnung** ein und aus. So sehen Sie sofort, wie sich eine Änderung der Geometrie auswirkt.



Abbildung 11: Ergebnisse und Verlaufs-Diagramm über der Schnapphöhe

> **Tipp:** Mit dem Doppelpfeil links neben dem Titel des Federelements blenden Sie den Eingabebereich ein und aus. Die Trennlinie zwischen Eingaben und Ergebnissen lässt sich mit der Maus verschieben.

3.8 Besondere Hinweise

- **Kugelschnappverbindung:** Zur Einführungshöhe h berechnet das Programm zusätzlich eine Mindesteinführungshöhe aus Kugeldurchmesser und zulässiger Dehnung. Ist die eingegebene Einführungshöhe kleiner, erscheint ein Hinweis.
- **Querkrafteinfluss bei kurzen Biegefedern:** Bei sehr kurzen Biegefedern muss der Querkrafteinfluss als Schubverformungsanteil der Durchbiegung berücksichtigt werden. Unterschreitet die Federlänge die dafür maßgebende Mindestlänge, erscheint ein Hinweis; maßgebend sind Querschnittsfläche und Biegeträgheitsmoment, die Sie gegebenenfalls anpassen.
- **Plausibilität:** Die Software kann nicht alle Eingaben auf Sinnhaftigkeit prüfen. Stellen Sie sicher, dass Ihre Eingaben technisch logisch und korrekt sind.

3.9 Speichern und Drucken

Das Menü **„Projekt“** der Modulleiste enthält **Neues Projekt erstellen…**, **Projekt laden…**, **Projekt speichern**, **Projekt speichern unter…** und **Drucken / Druckvorschau…**. Projekte werden standardmäßig im Ordner **Dokumente\PolPartDesign Files**.

Die Druckvorschau enthält Projektkopf, Ergebnisse, Prinzip-Skizze mit allen Maßen, Rastelement, Querschnitt und Werkstoffangaben. Über das Druckersymbol drucken Sie den Bericht, mit dem Zoom-Regler unten ändern Sie die Ansicht.

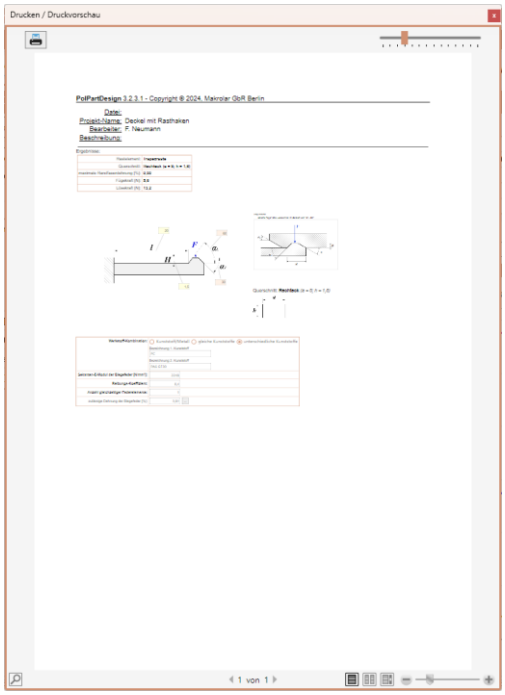


Abbildung 12: Druckvorschau einer Schnappverbindung

4 Zahnrad-Berechnungen

Das Modul berechnet Kunststoff-Stirnradgetriebe in Anlehnung an DIN 3990: Nullgetriebe mit 20°-Evolventenverzahnung, Gerad- oder Schrägverzahnung, für Kunststoffe mit einem E-Modul nach DIN EN ISO 527 von mindestens 300 N/mm² bzw. einer Shorehärte über 60D. Als Beispiel dient eine **Stirnradstufe**: Ritzel aus PA66-GF30 mit 20 Zähnen, Rad aus PA66 mit 60 Zähnen, Modul 1 mm, 20 W bei 1500 min^{-1}.

Die rechnerischen Tragfähigkeitsnachweise umfassen **Zahnfußfestigkeit**, **Zahnflankenpressung**, **Zahnverformung** sowie **Zahnmasse- und Zahnflankentemperatur** mit den zugehörigen rechnerischen Sicherheiten. Getriebe mit Profilverschiebung lassen sich erforderlichenfalls durch Anpassen der maßgebenden Berechnungsgrößen und Einflussfaktoren nach DIN 3990 berechnen. Festigkeitsnachweise und Temperaturkontrollen für Metallräder in kombinierten Getrieben werden nicht berechnet. Mehrstufige Getriebe bearbeiten Sie – unter Beachtung der Leistungsverzweigung – als einzelne Projekte je Stufe.

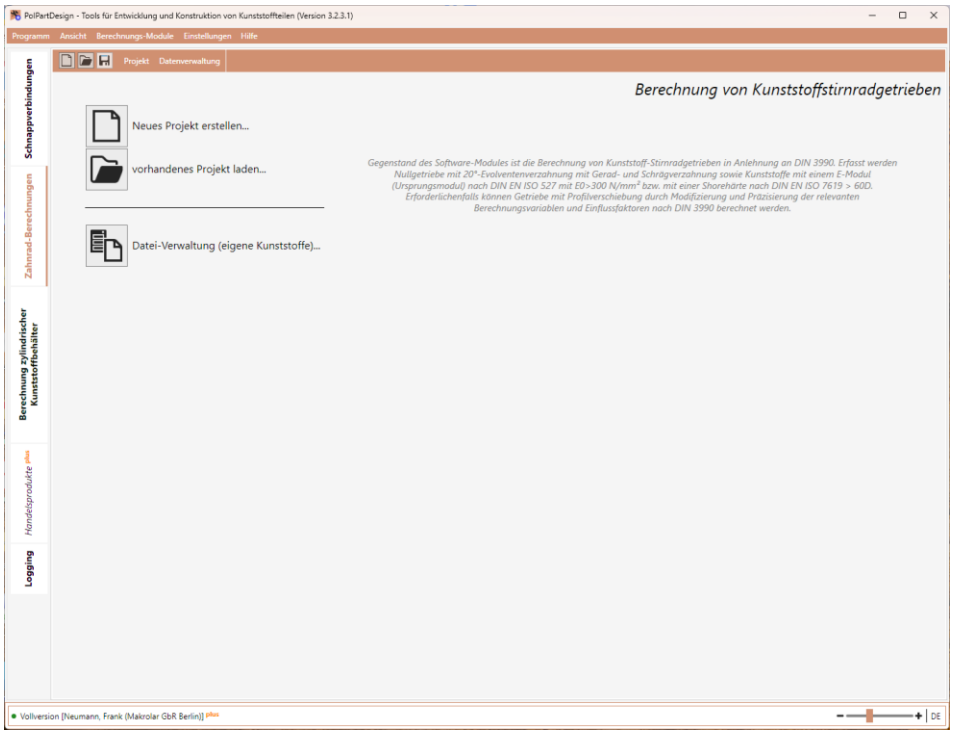


Abbildung 13: Startseite des Moduls „Zahnrad-Berechnungen“

4.1 Neues Projekt anlegen

Klicken Sie auf **„Neues Projekt erstellen…“**. Der Assistent fragt die Daten in sechs Schritten ab.

1. **Allgemeine Projekt-Angaben:** Projekt-Bezeichnung, Bearbeiter und Beschreibung.
2. **Getriebestufe / Normalmodul: Außenrad-Stufe**, **Innenrad-Stufe** oder **Planetenrad-Stufe**. Den **Normalmodul** geben Sie direkt ein oder wählen ihn über **„…“** aus den Vorzugsreihen I und II nach DIN 780.
3. **Werkstoffe / Werkstoffpaarung:** Wählen Sie links den Werkstoff des Rades und rechts den des Ritzels. Die Liste enthält die Werkstoffe der Datenbank (jeweils trocken und feucht) und Ihre eigenen Werkstoffe (Abschnitt 4.4).
4. **Verzahnung / Zähnezahl / Zahnbreite / Abschirmung:** Gerad- oder Schrägverzahnung, Zähnezahl und Zahnbreite für Rad und Ritzel (der Teilkreis-Ø wird berechnet) sowie die **Getriebeabschirmung**: offen, teilgeschlossen oder geschlossen. Beim geschlossenen Getriebe geben Sie die Oberfläche des Getriebegehäuses ohne Bodenfläche in m² an.
5. **Arbeitsweise / Drehzahl / Leistung:** Arbeitsweise mit Anwendungsfaktor (gleichmäßig 1,0; leichte bis mäßige Stöße 1,35; mäßige bis mittlere Stöße 1,75; starke Stöße 2,25 oder eigener Faktor). Dann entweder **Drehmoment** oder **Getriebe-Nennleistung** angeben; Drehzahl und Drehmoment des anderen Rades werden berechnet.
6. **Schmierung / Reibwert / Temperatur / Laufzeit:** Trockenlauf, Einmalfettschmierung, Ölnebel- oder Tauchölschmierung; Reibwert der Werkstoffkombination oder eigener Reibwert; Umgebungstemperatur; Dauer- oder Aussetzbetrieb und Gesamtlaufzeit in Stunden.
7. Klicken Sie auf **„Fertigstellen“**. Die anschließende Frage nach dem Speichern können Sie mit **„Nein“** beantworten und später speichern.

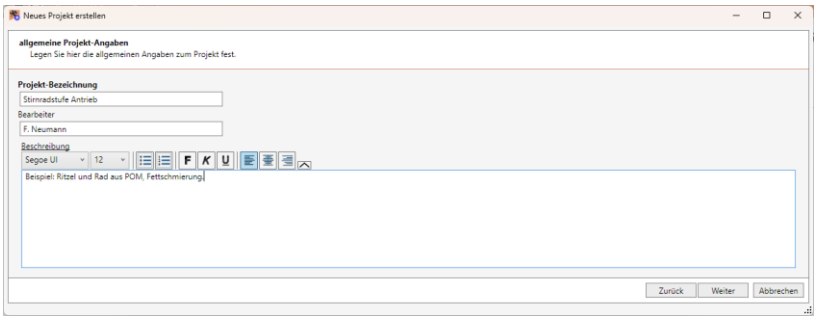


Abbildung 14: Assistent: allgemeine Projekt-Angaben

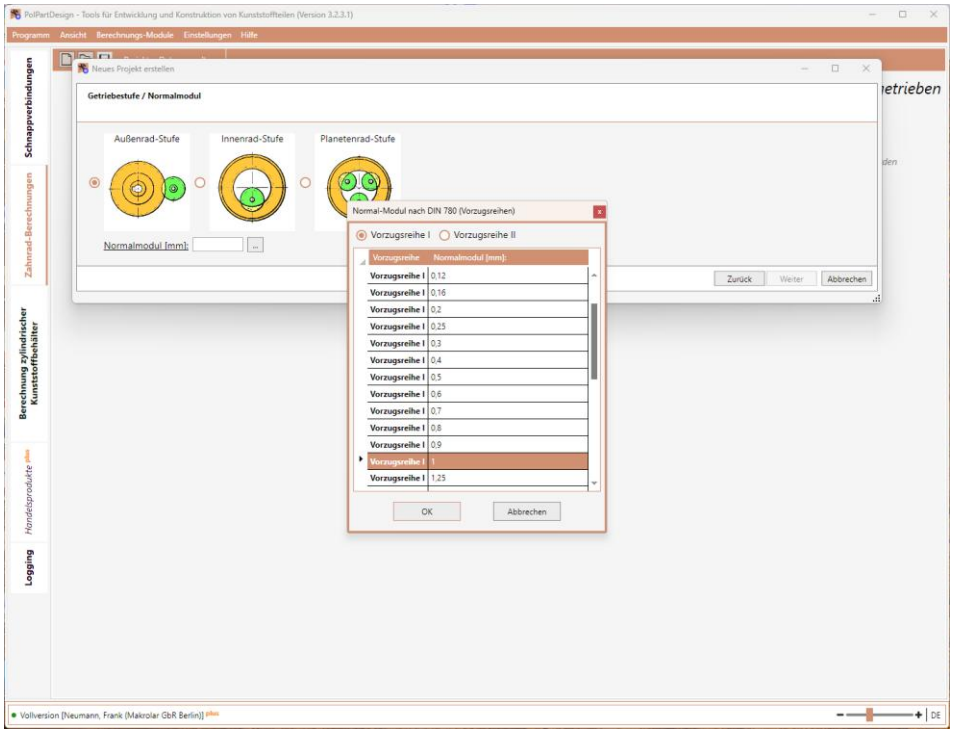


Abbildung 15: Normalmodul nach DIN 780 aus den Vorzugsreihen wählen

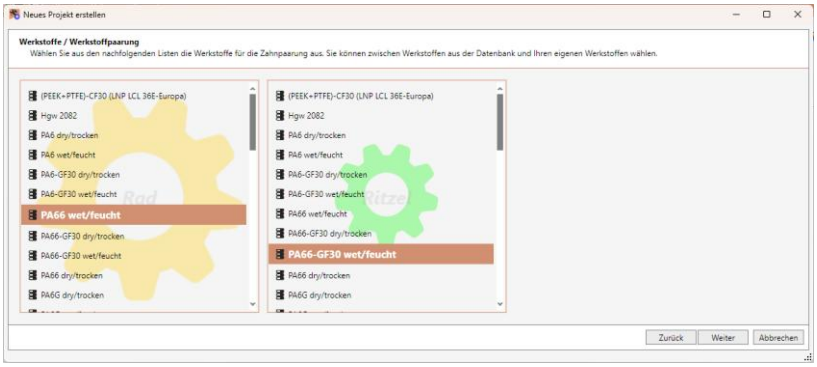


Abbildung 16: Assistent: Werkstoffpaarung (links Rad, rechts Ritzel)

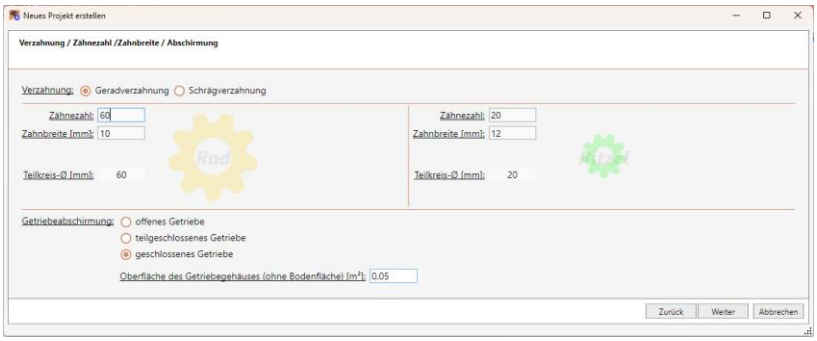


Abbildung 17: Assistent: Verzahnung, Zähnezahl, Zahnbreite und Abschirmung

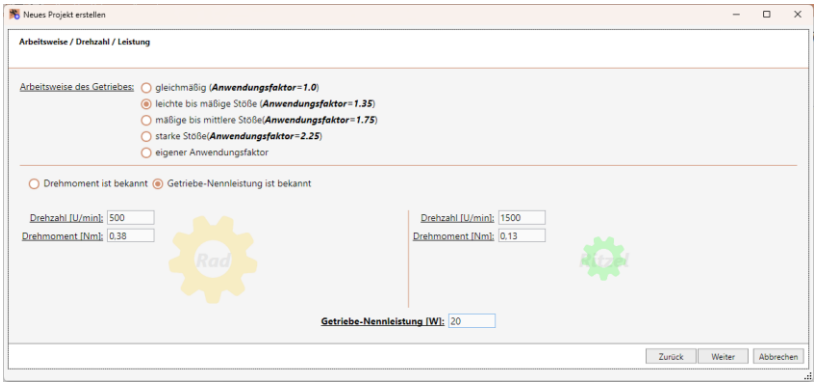


Abbildung 18: Assistent: Arbeitsweise, Drehzahl und Leistung



Abbildung 19: Assistent: Schmierung, Reibwert, Temperatur und Laufzeit

Hintergrund zu einzelnen Eingaben:

- **Normalmodul:** Der Modul ist das Verhältnis von Teilkreisdurchmesser zu Zähnezahl (m = d / z). Der Normalmodul ist der Modul im Normalschnitt, also in der zu den Flankenlinien senkrechten (räumlich gekrümmten) Schnittfläche. Nur Zahnräder gleichen Moduls lassen sich paaren; die Vorzugsreihen nach DIN 780 erleichtern die Auswahl passender Räder und ermöglichen standardisierte Werkzeuge.
- **Zähnezahl:** Die Mindestzähnezahl beträgt 14. Ändern Sie die Zähnezahl eines Rades, wird die Drehzahl des anderen Rades neu berechnet.
- **Getriebeabschirmung:** Darunter fallen sowohl Getriebegehäuse als auch alle konstruktiv vorgegebenen Hüllen, Wände oder Abdeckungen, die das Getriebe gegenüber der freien Umgebung abschirmen.
- **Drehmoment und Nennleistung:** Ändern Sie das Drehmoment, werden Nennleistung und Drehmoment des anderen Rades berechnet; ändern Sie die Nennleistung, werden beide Drehmomente neu berechnet.

- **Anwendungsfaktor:** Dynamische Zusatzkräfte aus Antrieb und angetriebener Maschine werden durch den Anwendungsfaktor nach DIN 3990 Teil 1 berücksichtigt. Das können Schätzwerte oder vorgegebene Betriebswerte sein.
- **Getriebelaufzeit:** Bei Aussetzbetrieb hängt das thermische Gleichgewicht von Zahnmasse- und Zahnflankentemperatur von der Laufzeit pro Laufzeitzyklus ab. Bei Laufzeiten über 80 min kann Dauerbetrieb vorausgesetzt werden, sonst bestimmt die **relative Einschaltdauer** (Verhältnis von Nutzungsdauer zu Ruhezeit) das Niveau der Zahntemperaturen. Aus der Gesamtlaufzeit wird die Lastwechselzahl des Ritzels berechnet.
- **Werkstoffpaarung:** Die Werkstofflisten enthalten Metalle und Kunststoffe; mindestens ein Rad der Paarung muss aus Kunststoff sein. Ein Symbol in der ersten Spalte kennzeichnet, ob die Daten aus der mitgelieferten Datenbank oder aus einer eigenen Kunststoff-Datei stammen. Für Metalle können nur die Daten der Datenbank verwendet werden. Soweit möglich wird der Reibwert der Paarung berechnet; ein eigener Reibwert ersetzt ihn.

4.2 Ergebnisse und Hinweise

Nach dem Assistenten sehen Sie links die Eingaben in aufklappbaren Abschnitten, rechts den Bereich **„Ergebnisse und Hinweise“**. Jede Änderung links wird sofort neu berechnet.

Ergebnis	Beispiel / Bedeutung
Zahnmasse-Temperatur	42 °C
Zahnflanken-Temperatur	44 °C (zulässig 128,3 °C)
Sicherheit Zahnfußfestigkeit (Ritzel)	27,7 (zulässig 81,4 / vorhanden 2,9 N/mm²)
Sicherheit Zahnfußfestigkeit (Rad)	13,7 (zulässig 37,5 / vorhanden 2,7 N/mm²)
Sicherheit Zahnflankenpressung	9,4 (zulässig 78,8 / vorhanden 8,4 N/mm²)
Zahnverformung / zulässige Zahnverformung	0,03 mm / 0,1 mm
Lastwechselzahlen Ritzel / Rad / bestimmende	180.000.000 / 60.000.000 / 180.000.000
Achsabstand, Reibungs- und Dämpfungsverluste	40 mm; 0,31 W; 0,21 W

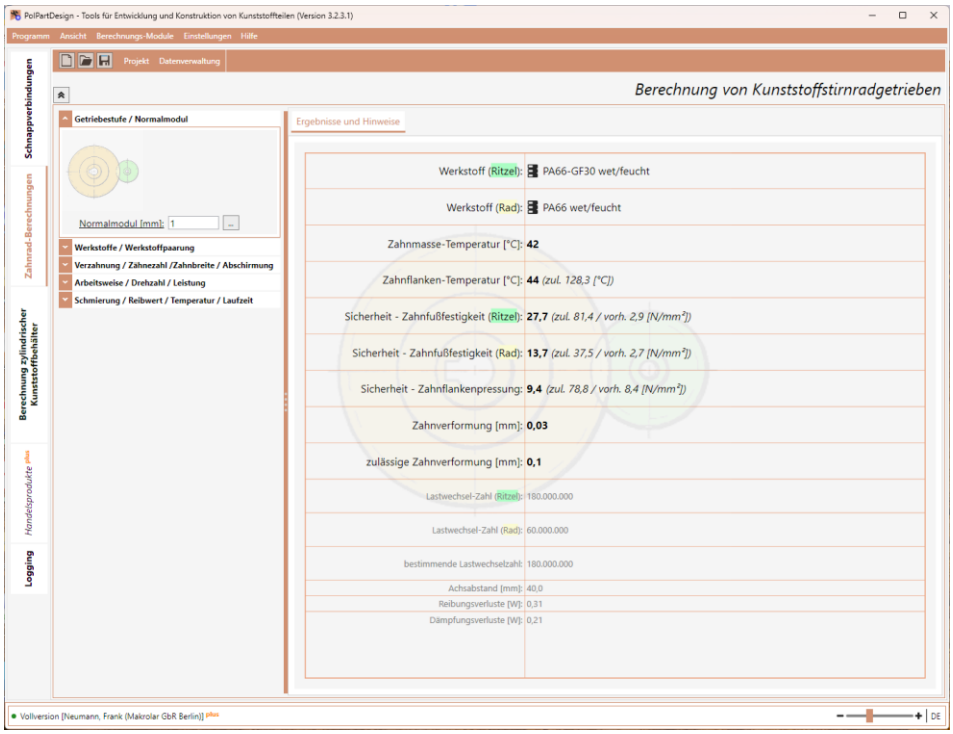


Abbildung 20: Ergebnisse und Hinweise der Zahnradberechnung

Berechnungsgrundlagen der Ergebnisse:

- Die **Zahnmassetemperatur** beruht auf einer Wärmebilanz aus Reibungs- und mechanischen Dämpfungsverlusten in Verbindung mit einem präzisierten Wärmeübergangsmodell.
- Die **Zahnflankentemperatur** wird mit einem modifizierten Integraltemperatur-Verfahren nach DIN 3990 bestimmt. Eine kontinuierliche Wärmeabfuhr durch Öl bei Ölschmierung ist nicht berücksichtigt.
- Für die **zulässige Zahnflankentemperatur** wird bei den Kunststoffen der Datenbank eine zulässige Warmlagerungszeit tzul von 5000 h angesetzt. Bei eigenen Kunststoffen müssen dafür zulässige Alterungstemperatur und zulässige Warmlagerungszeit erfasst sein.
- Die **Sicherheit der Zahnfußfestigkeit** wird für ein Metallrad nicht berechnet.
- Die Berechnungen sind nicht mit Inhalt und Geltungsbereich der zurückgezogenen VDI 2545 identisch; insbesondere beruhen die Zahntemperaturen nicht auf den empirischen Beziehungen von Hachmann/Strickle/Erhard.

Um eine Eingabe zu ändern, klappen Sie den entsprechenden Abschnitt auf, z. B. **„Werkstoffe / Werkstoffpaarung“**, und wählen einen anderen Werkstoff.

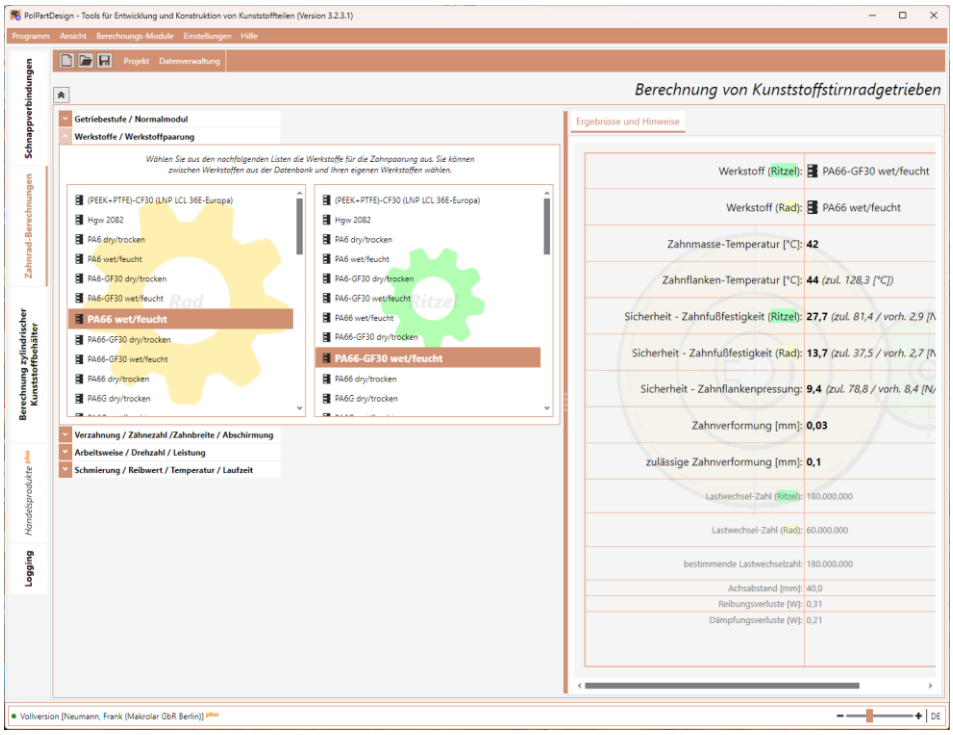


Abbildung 21: Werkstoffpaarung nachträglich ändern

4.3 Projekt-Menü und Projektangaben

Das Menü **„Projekt“** enthält **Neues Projekt…**, **Projekt laden…**, **Projekt speichern**, **Projekt speichern unter…**, **Projekt schließen**, **allgemeine Projektangaben…** und **Drucken / Druckvorschau…**. Zahnrad-Projekte haben die Dateiendung **.polpd**. Über **„allgemeine Projektangaben…“** ändern Sie Projekt-Bezeichnung, Bearbeiter und Beschreibung.

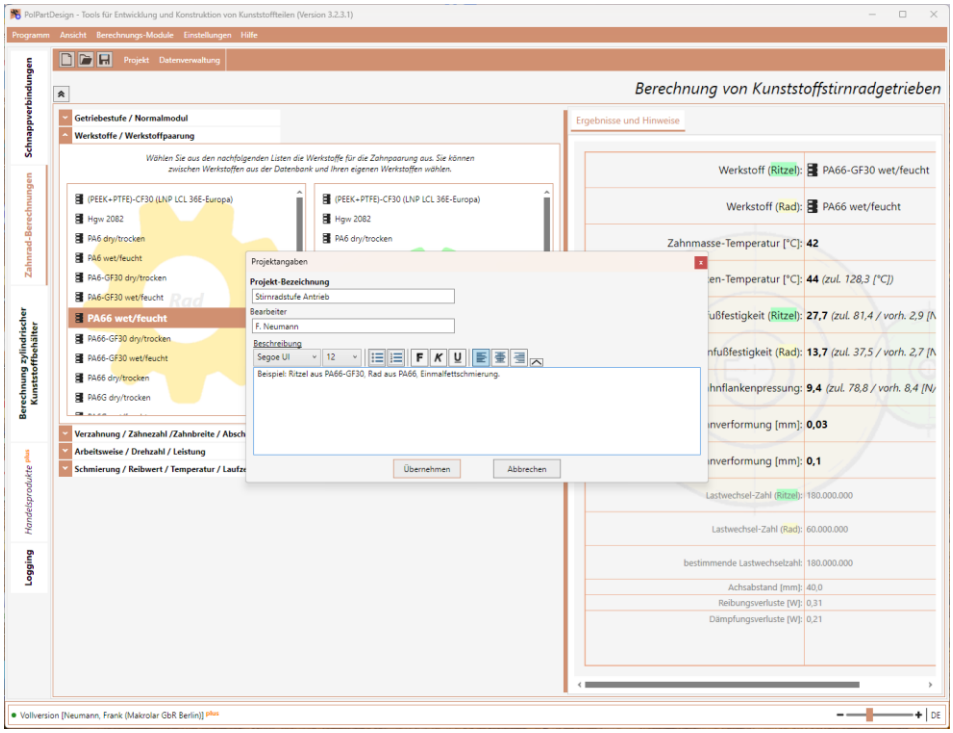


Abbildung 22: Allgemeine Projektangaben ändern

Die Druckvorschau fasst Projektkopf, Ergebnisse und alle Eingaben und Zwischenergebnisse mit Skizzen von Rad und Ritzel auf einer Seite zusammen.

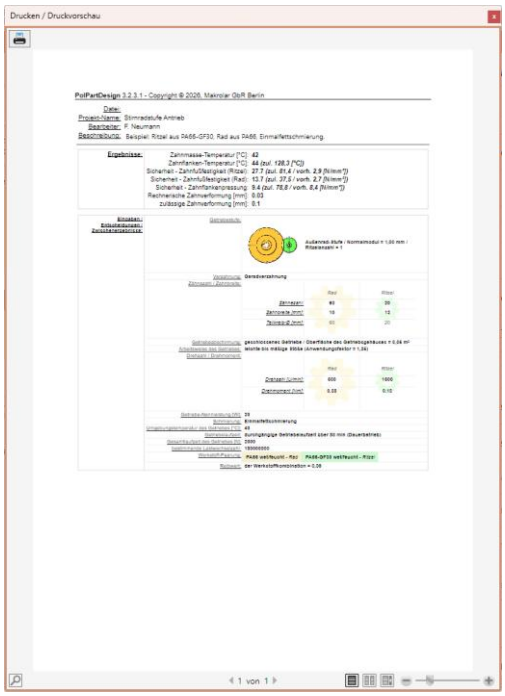


Abbildung 23: Druckvorschau der Zahnradberechnung

4.4 Datenverwaltung und eigene Kunststoffe

Das Menü **„Datenverwaltung“** enthält:

- **Datei-Verwaltung…** (auch über **„Datei-Verwaltung (eigene Kunststoffe)…“** auf der Startseite): eigene Werkstoffe anlegen und pflegen.
- **Formmassedaten der Datenbank…**: Tabelle der mitgelieferten Kunststoffe mit Wärmeeindringzahl, Deformationscharakteristik, Wärmeformbeständigkeits-Temperatur, E-Modul, Querkontraktionszahl und weiteren Kennwerten (nur lesen).
- **Daten von Metallen der Datenbank…**: Kennwerte der Metalle für Kunststoff/Metall-Paarungen.

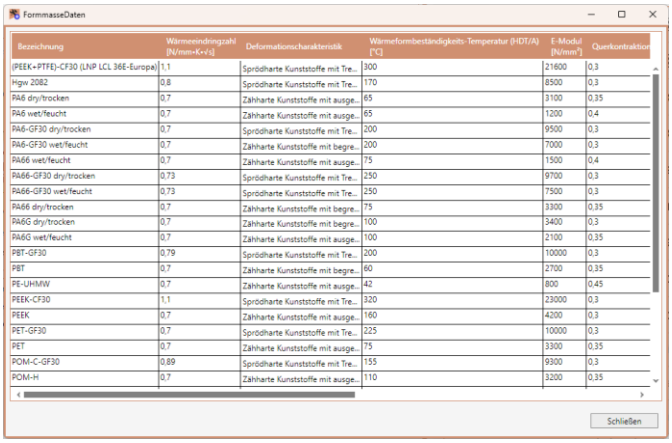


Abbildung 24: Formmassedaten der Datenbank

Die Kunststoffdaten der Datenbank sind Orientierungs- bzw. Durchschnittswerte und können ohne weitere Präzisierung verwendet werden. Genaue Eigenschaftswerte hängen u. a. von Hilfs-, Füll- und Verstärkungsstoffen ab; um solche Modifikationen zu berücksichtigen, legen Sie eigene Kunststoffe an.

Im Fenster **„eigene Kunststoffe“** steht oben das Ablageverzeichnis (standardmäßig **Dokumente\PolPartDesign Files**). Links sind Ihre Werkstoffe aufgelistet, rechts die Kennwerte des

gewählten Eintrags. Mit den Symbolen der Leiste legen Sie einen Eintrag **neu** an, **bearbeiten**, **speichern** oder **löschen** ihn.

Zu einem eigenen Kunststoff gehören u. a. Formmasse-Bezeichnung, Werkstoff-Zuordnung (teilkristalline oder amorphe Thermoplaste, PTFE, Duroplaste, LCP), reibkraftmindernde Zusätze, Wärmeeindringzahl, Deformationscharakteristik, Bruch-/Streckgrenz-Dehnung, Wärmeformbeständigkeits-Temperatur, E0-Modul, Querkontraktionszahl, Dämpfungsfaktor und Reibungskoeffizient für Trockenlauf; optional zulässige Temperatur und Lastwechselzahl. Neben vielen Feldern zeigt das Programm Orientierungswerte an; Zahlensymbole (z. B. ❸) zeigen, von welchen anderen Eingaben ein Orientierungswert abhängt – etwa Querkontraktionszahl und Dämpfungsfaktor vom E-Modul.

Zulässige Alterungstemperatur und zulässige Warmlagerungszeit sind optional, werden aber für die zulässige Zahnflankentemperatur benötigt; ermitteln können Sie sie z. B. mit PolSelec. Die Wärmeeindringzahl können Sie über **„Berechnen“** aus Dichte, Wärmeleitzahl und spezifischer Wärmekapazität bestimmen; die Liste mit rund 150 Werkstoffen entspricht dem Berechnungs-Modul in Abschnitt 6.3. Den Ablageort der Dateien legen Sie unter **„Einstellungen“ → „Optionen…“** fest; beim Programmstart werden die Dateien daraus gelesen.

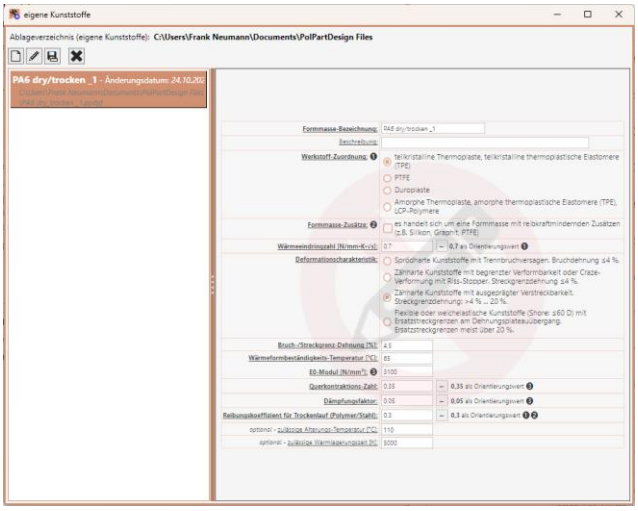


Abbildung 25: Eigene Kunststoffe verwalten

> **Hinweis:** Eigene Kunststoffe werden als Dateien mit der Endung **.ppdpf** gespeichert und erscheinen anschließend in den Werkstofflisten des Assistenten und der Projektansicht.

5 Berechnung zylindrischer Kunststoffbehälter

Das Modul berechnet für stehende zylindrische Behälter mit Flüssigkeitsfüllung die **Mindest-Wanddicke** und führt mit der gewählten Wanddicke einen **Festigkeitsnachweis**. Beispiel: geschweißter **Lagertank** aus PP-H für Wasser, Durchmesser 1200 mm, Füllhöhe 2000 mm.

Für die Belastung während der Anwendungszeit unterscheidet das Programm zwei Zeitverlaufsarten:

- **statische Belastung:** durchgehend konstante Füllhöhe, wobei die Flüssigkeitstemperatur in Teilzyklen variieren kann;
- **intermittierende Belastung:** unterbrochene Belastung durch gleiche oder unterschiedliche Lastzyklen. Ein Lastzyklus ist durch Zeit, konstante Flüssigkeitstemperatur sowie minimale und maximale Füllhöhe festgelegt; das Gesamtbelastungsschema kann einen oder mehrere Lastzyklen enthalten.

Voraussetzungen der Berechnung:

- Der obere Behälterrand ist frei, der untere Rand unverschieblich am Boden eingespannt.
- Die konstante Wanddicke s ist klein gegenüber dem Durchmesser d (Membranzustand).
- Die Behälterwand besteht aus einem isotropen oder orthotropen Werkstoff.

Die erforderlichen Werkstoffdaten bestimmt das Programm nach einem internen Verfahren aus Basisdaten und schlägt sie als Orientierungswerte vor.

5.1 Neues Projekt anlegen

Klicken Sie in der **Projektverwaltung** auf **„Neues Projekt erstellen“**. Der Assistent fragt die grundlegenden Entscheidungen ab:

- **Art der Belastung:** statische oder intermittierende Belastung.
- **Kunststoff-Werkstoff:** isotroper oder orthotroper Kunststoff.
- **Schweiß- oder Klebkonstruktion:** Kontrollkästchen setzen, wenn der Behälter geschweißt oder geklebt ist.
- **Projekt-Bezeichnung** und **Bearbeiter**.

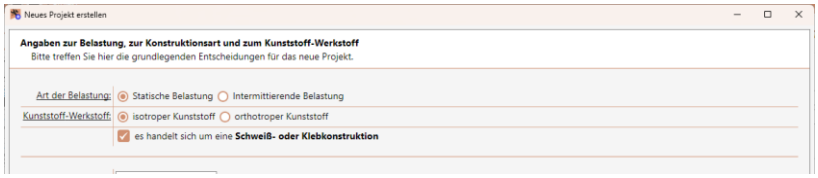


Abbildung 26: Assistent: Belastung, Konstruktionsart und Werkstoff

> **Wichtig:** Bei Schweiß- oder Klebkonstruktionen müssen Sie eine Festigkeitsabminderung berücksichtigen. Verringern Sie die zulässige Dehnung entsprechend (Abschnitt 5.3).

5.2 Basisdaten und Temperatur-/Belastungsschema

Unter **„Basisdaten“** geben Sie die **Bezeichnung der Flüssigkeit** und ihre **Dichte** in g/cm³ ein. Unter **„Temperatur- und Belastungsschema“** folgen der **Durchmesser** d in mm und das Schema selbst.

Klicken Sie auf **„Schema bearbeiten…“**. Im Fenster legen Sie die **Füllstandshöhe** fest und erfassen in der Tabelle Zeitabschnitte mit **Start**, **Dauer** (in Stunden) und **Flüssigkeits-Temperatur**. So bilden Sie Betriebsphasen mit unterschiedlichen Temperaturen bei gleicher Füllhöhe ab. Das Diagramm rechts zeigt Füllhöhe und Temperatur über der Anwendungszeit. Im Beispiel: 1000 h bei 23 °C, danach 1000 h bei 40 °C.

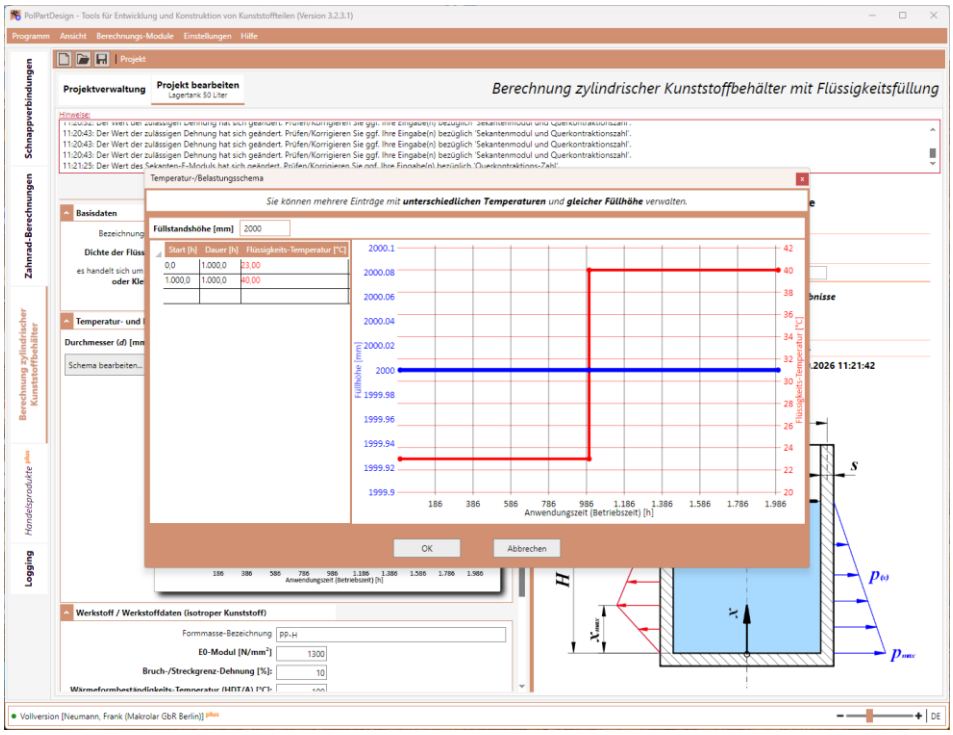


Abbildung 27: Temperatur- und Belastungsschema bearbeiten

Bei **intermittierender Belastung** legen Sie für die Gesamtbetriebszeit Lastzyklen fest. Je Lastzyklus geben Sie maximale und minimale Füllhöhe, die Zeitanteile mit maximaler und minimaler Belastung, die Zyklusanzahl und die Flüssigkeits- bzw. Anwendungstemperatur an. Für jeden Lastzyklus berechnet das Programm daraus die spezifischen Werkstoffdaten als Orientierungswerte und eine eigene Mindestwanddicke. Der Lastzyklus mit der größten Mindestwanddicke ist für die weitere Berechnung maßgebend.

5.3 Werkstoffdaten

Im Abschnitt **„Werkstoff / Werkstoffdaten (isotroper Kunststoff)“** geben Sie ein:

Feld	Beispiel / Hinweis
Formmasse-Bezeichnung	PP-H
E0-Modul [N/mm²]	1300
Bruch-/Streckgrenz-Dehnung [%]	10
Wärmeformbeständigkeits-Temperatur (HDT/A) [°C]	100
Werkstoff-Deformationscharakteristik	zähharte Kunststoffe mit ausgeprägter Verstreckbarkeit
zulässige Dehnung [%]	1,5 (wegen der Schweißnähte bewusst unter dem Vorschlag von 3,8)
Sekanten-E-Modul (Zug) [N/mm²]	527
Querkontraktions-Zahl (Sekanten-Modul)	0,45

Rechts neben **zulässige Dehnung**, **Sekanten-E-Modul** und **Querkontraktions-Zahl** zeigt eine Schaltfläche den Wert, den PolPartDesign aus Ihren übrigen Eingaben berechnet. Ein Klick darauf übernimmt diesen Wert. Solange Angaben fehlen (z. B. das Belastungsschema), zeigt die Schaltfläche **„--“**.

Hinweis: Ändern Sie einen Wert, von dem andere abhängen, meldet die Hinweisliste über den Eingaben, welche Eingaben Sie prüfen sollten (z. B. „Der Wert des E0-Moduls hat sich geändert…“).

Festigkeitsabminderungen. Bei Gefährdung durch Spannungsrisse oder ähnliche Festigkeitsabminderungen orientieren Sie die zulässige Dehnung an der kritischen Dehnung: **εzul ≈ εkrit / 3**. Die folgenden Richtwertbereiche kritischer Dehnungen stammen aus Prüfungen in Luft. Sie ergeben sich aus stoffstrukturellen Einflüssen und dem Messprinzip der Prüfverfahren, sind also keine polymerindividuellen Kennwerte, und sollten im Sinne der üblichen Sicherheitsbewertung je nach Anforderung und Risiko genutzt werden.

Polymere	Einsatztemperatur	εkrit [%]	Beispiele
Amorphe Thermoplaste (außer PS)	unter Tg	0,6 … 0,9	PC, ABS, SAN, PVC-U, PMMA, SB, PSU, PESU, (PC+ABS), (PPE+SB)
Polystyrol	unter Tg	0,2 … 0,3	PS
Teilkristalline Thermoplaste	unter Tg	0,4 … 0,8	PA6, PA66, PA610 (jeweils trocken), PEEK
Teilkristalline Thermoplaste	über Tg	1,5 … 2,5	PA6, PA66, PA610 (jeweils normalfeucht), PP, PE-HD, POM
Glasfaserverstärkte Thermoplaste (über 15 % GF)	unter Tg	0,2 … 0,3	alle Thermoplaste
Glasfaserverstärkte Thermoplaste (über 15 % GF)	über Tg	0,3 … 0,5	alle Thermoplaste
Glasmattenverstärkte Duroplaste (über 10 % GM)	–	0,3 … 0,5	UP, EP
Duroplastische Press- und Spritzgussstoffe	–	(0,2 … 0,3) · εB	alle Typen nach DIN EN ISO 14526 bis 14530 (PMC) und DIN EN 14598 (BMC, SMC)

Tg: Glastemperatur der amorphen Polymerphase; εB: Bruchdehnung nach DIN EN ISO 527.

5.4 Ergebnisse

Rechts stehen unter **„Berechnungen / Ergebnisse“** die **Mindest-Wanddicke** und die Höhe der maximalen Spannung. Tragen Sie in **„gewählte Wanddicke“** die vorgesehene Wanddicke ein, dann erscheinen der **Festigkeitsnachweis** (maximale/zulässige Spannung) und der **Sicherheitsfaktor**.

Ergebnis	Beispiel
Mindest-Wanddicke	1,49 mm
Ordinate der maximalen Spannung (Mindest-Wanddicke)	72 mm
gewählte Wanddicke	3 mm
Ordinate der maximalen Spannung (gewählte Wanddicke)	101 mm
Festigkeitsnachweis (max./zul. Spannung)	3,92 / 7,91 N/mm²
Sicherheitsfaktor	2,01
resultierende Anwendungs- bzw. Flüssigkeitstemperatur	31,5 °C
maximaler Wanddruck	0,020 N/mm²

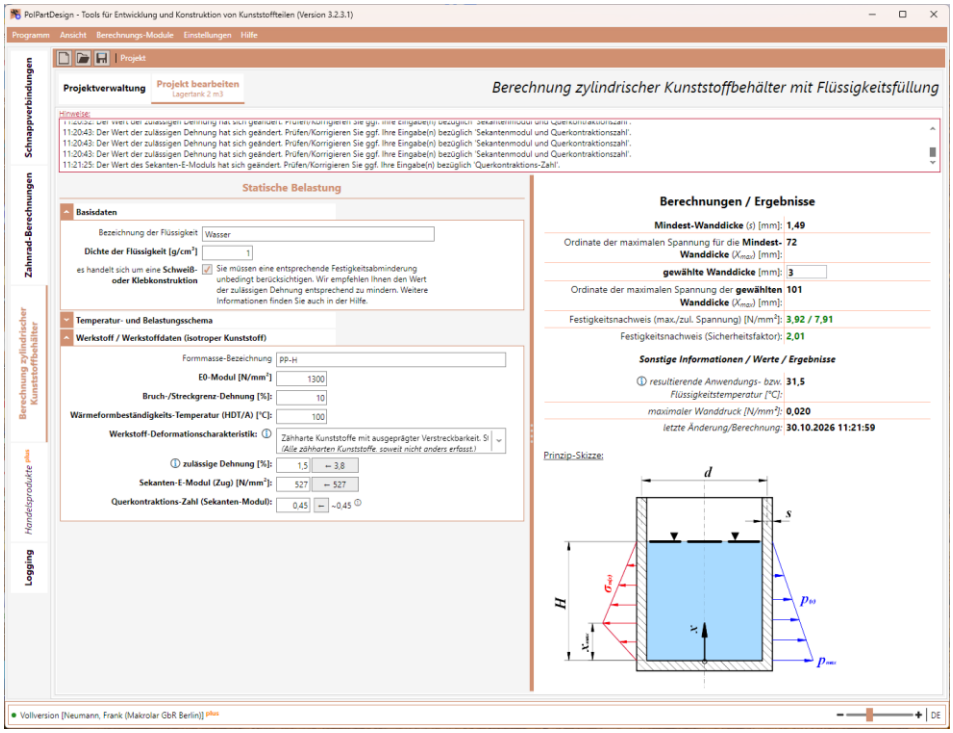


Abbildung 28: Eingaben und Ergebnisse der Behälterberechnung

5.5 Speichern und Drucken

Speichern und Drucken erfolgen wie bei den Schnappverbindungen über die **Projektverwaltung** oder das Menü **„Projekt“**. Der Bericht enthält alle Eingaben, das Belastungsschema und die Ergebnisse.

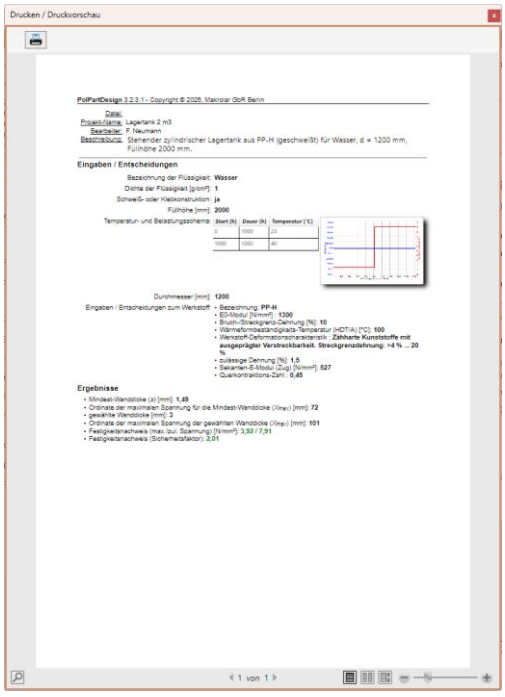


Abbildung 29: Druckvorschau der Behälterberechnung

6 Berechnungs-Module

Das Menü **„Berechnungs-Module“** der Hauptmenüleiste enthält drei Hilfsberechnungen, die Sie unabhängig von einem Projekt und von jedem Register aus aufrufen können. Sie dienen zur schnellen Abschätzung von Werkstoffkennwerten, z. B. bevor Sie ein Projekt anlegen. Die Ergebnisse werden nicht gespeichert; mit **„Schließen“** beenden Sie das Fenster.

6.1 E-Module berechnen

Das Fenster **„Sekanten-/Tangenten-E-Modul“** berechnet überschlägig den E-Modul eines Kunststoffs unter Einsatzbedingungen:

Eingabe	Bedeutung
E-Modul	**Sekanten-E-Modul** oder **Tangenten-E-Modul**.
Art der Belastung	**Zug / Druck** oder **Biegung / Torsion / Scherung**.
Zeitverlaufsart	**zügig**, **statisch**, **intermittierend**, **schwingend (schwellend)** oder **schwingend (wechselnd)**. Die Prinzip-Skizze rechts zeigt den gewählten Verlauf; je nach Zeitverlaufsart erscheinen weitere Felder, z. B. **Zeit der Belastung** bei statischer Belastung.
E0-Modul [N/mm²]	Ursprungsmodul des Werkstoffs.
maximale Dehnung [%]	Dehnung, bei der der E-Modul ermittelt werden soll.
Wärmeformbeständigkeits-Temperatur [°C]	HDT des Werkstoffs.
Anwendungstemperatur (TA) [°C]	Temperatur im Einsatz.

Sobald alle Felder ausgefüllt sind, steht unten das **Ergebnis der überschlägigen Berechnung**. Beispiel: PP mit E0 = 1300 N/mm², 1 % Dehnung, HDT 100 °C, 40 °C und 10 000 h statischer Belastung → Sekanten-E-Modul 450,6 N/mm².

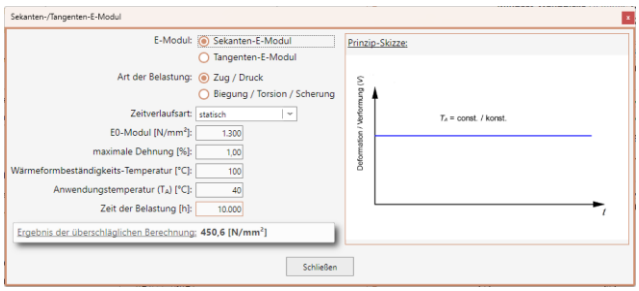


Abbildung 30: Berechnungs-Modul „E-Module berechnen“

6.2 Zulässige Dehnung berechnen

Das Fenster **„zulässige Dehnung“** schätzt die zulässige Dehnung eines Kunststoffs ab. Sie wählen die **Zeitverlaufsart** und die **Werkstoff-Deformationscharakteristik** (sprödharte Kunststoffe, zähharte mit begrenzter Verformbarkeit, zähharte mit ausgeprägter Verstreckbarkeit oder flexible Kunststoffe; das Info-Symbol erläutert die Gruppen mit Beispielen) und geben **Bruch-/Streckgrenz-Dehnung**, **Wärmeformbeständigkeits-Temperatur** und gegebenenfalls die **Zeit der Belastung** ein.

Beispiel: zähharter Kunststoff, Streckdehnung 10 %, HDT 100 °C, 10 000 h statische Belastung → zulässige Dehnung 3,48 %.

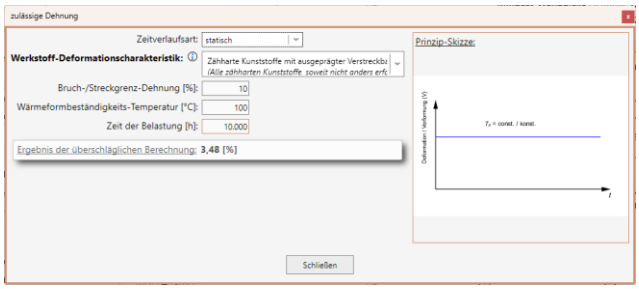


Abbildung 31: Berechnungs-Modul „zulässige Dehnung berechnen“

6.3 Wärmeeindringzahl berechnen

Die Wärmeeindringzahl b = √(λ · ρ · c) beschreibt, wie schnell ein Werkstoff Wärme aufnimmt, und wird z. B. für die Temperaturberechnung von Zahnrädern benötigt. Geben Sie **Dichte** [g/cm³], **Wärmeleitzahl** [W/m·K] und **spezifische Wärmekapazität** [J/g·K] ein; das Ergebnis erscheint in N/(mm·K·√s).

Links listet das Fenster **Orientierungswerte** gängiger Kunststoffe (Kürzel und Bezeichnung). Ein **Doppelklick** auf eine Zeile übernimmt deren Werte in die Eingabefelder. Beispiel: PA6 GF30 → Dichte 1,36 g/cm³, Wärmeleitzahl 0,24 W/m·K, Wärmekapazität 1,5 J/g·K → Wärmeeindringzahl 0,7.

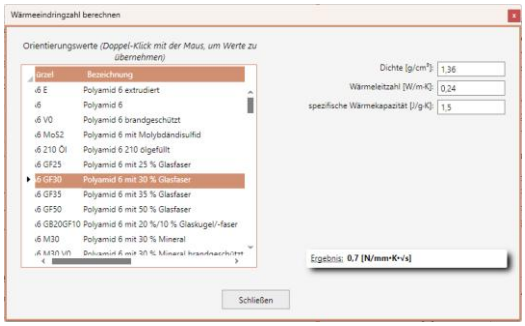


Abbildung 32: Berechnungs-Modul „Wärmeeindringzahl berechnen“ mit Orientierungswerten

> **Tipp:** Die Hilfsberechnungen in den Projekten (z. B. die Schaltflächen **„…“** bei den Schnappverbindungen) verwenden dieselben Verfahren, übernehmen das Ergebnis aber direkt in das Projekt.

7 Menüs

Menü	Befehle
Programm	**Programm beenden**; **Info über…**
Ansicht	Wechsel zwischen **Schnappverbindungen**, **Zahnrad-Berechnungen**, **Kunststoffbehälter-Berechnungen** und **Handelsprodukte**; **Originalgröße (100 %)**; **Ergebnisse-Änderungs-Ansicht**.
Berechnungs-Module	**E-Module berechnen…**, **zulässige Dehnung berechnen…**, **Wärmeeindringzahl berechnen…** (Kapitel 6)
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 anzeigen…** (Taste F1); **lokale Hilfe (Handelsprodukte-DB) anzeigen…**

Menü	Befehle
Projekt (Modulleiste)	Neues Projekt, Laden, Speichern, Speichern unter, Drucken / Druckvorschau; bei Zahnrädern zusätzlich **Projekt schließen** und **allgemeine Projektangaben…**
Rastelement (Schnappverbindungen)	**anderes Rastelement auswählen…**
Datenverwaltung (Zahnräder)	**Datei-Verwaltung…**; **Formmassedaten der Datenbank…**; **Daten von Metallen der Datenbank…**

8 Tipps und häufige Fragen

Frage	Antwort
Warum werden keine Ergebnisse angezeigt?	Es fehlen noch Eingaben. Der Bereich „Hinweise“ bzw. die rote Meldung „Es fehlen noch Eingaben/Entscheidungen“ nennt die fehlenden Angaben.
Kann ich Entscheidungen aus dem Assistenten später ändern?	Ja. Alle Angaben lassen sich in der Projektansicht ändern; die Ergebnisse werden sofort aktualisiert.
Werden die Werte der Hilfsberechnungen gespeichert?	Nein, nur das übernommene Ergebnis wird im Projekt gespeichert.
Wie finde ich die günstigste Geometrie einer Schnappverbindung?	Nutzen Sie die Verlaufs-Diagramme: Wählen Sie die zu variierende Größe als X-Achse und lesen Sie Kräfte und Dehnung ab.
Mein Werkstoff fehlt in der Zahnrad-Datenbank.	Legen Sie ihn unter „Datenverwaltung → Datei-Verwaltung…“ als eigenen Kunststoff an.
Der Behälter ist geschweißt. Was muss ich beachten?	Setzen Sie das Kontrollkästchen für Schweiß- oder Klebkonstruktion und verringern Sie die zulässige Dehnung entsprechend der Schweißnahtgüte.