



3D-Konstruktion mit SolidWorks®

Projektorientierte Anwendung von CAD-Techniken

Lehrbrief 1



Autor

Harald Vogel



Herausgeber

Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG,
Technisches Institut für Aus- und Weiterbildung, Konstanz
© 2017

Auflage 01 | 2017

Jedes Veräußern, Verleihen oder sonstiges Verbreiten dieser Studieneinheit, auch auszugsweise, ist verboten.

Übersicht 3D-Konstruktion mit SolidWorks®

- 1 **SolidWorks einrichten**
- 2 **Extrusion: Methoden des Mechanical CAD**
- 3 **Drehteile *en masse*: Rotationskörper**
- 4 **Lösungen Kontrollfragen**
- 5 **Prüfungsfragen Lehrbrief 1**

Lernziele:

In diesem Lehrbrief erwerben Sie die folgenden Kenntnisse und Fertigkeiten:

- Die Oberfläche von SolidWorks auf Ihren Bedarf anpassen
- Die Systemoptionen einstellen und speichern
- Die Dokumenteinstellungen speichern
- Ansichten im virtuellen Raum steuern
- Die Zeichenhilfen einstellen
- Der Aufbau eines Volumenkörpers
- Querschnitte für 3D-Operationen definieren
- Skizzenbeziehungen „sehen“
- Steuernde Bemaßungen einsetzen
- Erstellungshistorie und Parametrik verstehen
- Querschnitte extrudieren
- Querschnitte rotieren
- Das passende Verfahren wählen
- Hohlkörper modellieren

Inhaltsverzeichnis

Vorwort – Der Werdegang eines Modells	7
Der Lehrgang 3D-Konstruktion mit SolidWorks®	9
Das Projekt.....	9
Der Exzenter [Ex]	10
Der Schlitten [Schl]	10
Der Motor [M].....	11
Das Getriebe [G]	11
Die Haube [H].....	12
Die Stanze [St] mit Hebel.....	12
Die Bodengruppe [B]	13
Das Magazin [Mag] mit Arretierung [Ar]	13
Gebrauchsanleitung	14
Allgemeine Hinweise	14
Nomenklatur.....	15
À-propos Rechtschreibung.....	16
Die CDs	16
Das ultimativ kernige Fachwörterbuch Windows – Deutsch!	16
Menüs.....	16
Untermenüs.....	17
Symbolleisten.....	17
Schaltflächen und Icons	18
Bildlaufleisten	19
Die Statusleiste	19
Dialogboxen bzw. Dialogfelder	19
Registerkarten.....	20
Rubriken.....	20
Kontrollkästchen	20
Text-Schaltflächen	21
Gruppenfelder	21
Textfelder	21
Editierfelder	21
Pfeilschaltflächen bzw. Drehfelder	21
Default.....	21
Listenfelder	22
Kombinationsfelder	22
Schieberegler	22
Auswahllisten	22
Optionsfelder	22

1	SolidWorks einrichten.....	23
1.1	Ein neues Bauteil	23
1.1.1	Der Editor	24
1.1.2	Einstellungen sichern.....	26
1.2	Ruhe und Ordnung	27
1.2.1	Symbolleisten und Schaltflächen	27
1.2.2	Farben und Icons	28
1.2.3	Maustasten und Pfeiltasten	30
1.2.4	Ansichtswechsel und Überblendungen.....	30
1.2.5	Sicherungen und Wiederherstellungsdateien.....	31
1.2.6	Schaltflächen und Monitore.....	32
1.2.7	Symbolleisten und Platzbedarf.....	32
1.3	Orientierung in 3D.....	34
	Kontrollfragen.....	36
2	Extrusion: Methoden des Mechanical CAD	37
2.1	Zuerst die Bedingungen	37
2.2	Skizzieren = Interaktives Zeichnen	38
2.2.1	Nicht Zeichnung, sondern Skizze!.....	39
2.2.2	Skizzenbeziehungen anzeigen und löschen.....	40
2.2.3	Voll definiert: Die Natur der Skizzenbeziehung	42
2.3	Das Feature: Die dritte Dimension.....	43
2.3.1	Variables Denken	44
2.3.2	Absorbierte Features	44
2.3.3	Steuernde Bemaßungen	45
2.3.4	Speichern.....	47
2.4	Historie und Parametrik: Das logische Gerüst	48
2.4.1	Das Maßsystem	48
2.4.2	Modell neu aufbauen	49
2.5	Eine Dokumentvorlage für SolidWorks	50
2.5.1	Die Skizzenbearbeitung vereinfachen	50
2.5.2	Das Zeichengitter konfigurieren.....	51
2.5.3	Skizzenbeziehungen und Fangen.....	52
2.5.4	Maßeinheiten konfigurieren.....	52
2.5.5	Die Darstellungsqualität.....	53
2.5.6	Detaillierungsanzeige.....	54
2.5.7	Materialeigenschaften.....	55
2.5.8	Dokument-Optionen speichern	55
2.6	Symmetrie, serienmäßig	57
2.6.1	Mittellinien	58
2.6.2	Skizzen automatisieren.....	60
2.6.3	Features benennen	61

2.7	Die Ansichtssteuerung.....	61
2.7.1	Die Symbolleiste Standardansichten.....	62
2.7.2	Benannte Ansichten.....	63
2.7.3	Darstellungs-Praxis: Die Rendermodi	65
2.7.4	Schatten, Schnitt und RealView	67
	Kontrollfragen.....	68
3	Drehteile en masse: Rotationskörper.....	69
3.1	Eine Achse für die Führung.....	69
3.1.1	Beschränkung üben.....	69
3.1.2	Elemente ausrichten	71
3.1.3	Gleiche Elemente	71
3.1.4	Ausnutzung von Symmetrie.....	72
3.1.5	Doppelter Abstand als Durchmesser-Ersatz	74
3.1.6	Fase: Skizze oder Feature?	76
3.2	Drehteile durch Extrusion	79
3.3	Variantenkonstruktion I: Bauteile kopieren	81
3.3.1	Features aufeinanderstapeln	83
3.3.2	Basis und Aufsatz	86
3.3.3	Hohlkörper	88
3.3.4	Bearbeitung im Feature-Modus.....	90
3.4	Komplexe Rotationskörper	91
3.4.1	Ein Bolzen für das Magazin	91
3.4.2	Ein Anker: Der Umgang mit Überbestimmung	94
3.4.3	Elemente trimmen.....	95
3.4.4	Maßlinien verschieben	96
	Kontrollfragen.....	98
	Lösungen Kontrollfragen.....	99
	Kapitel 1	99
	Kapitel 2	99
	Kapitel 3	100
	Prüfungsfragen Lehrbrief 1	101
	Sachfragen	101
	Konstruktion	102

Vorwort

Der Werdegang eines Modells

Liebe Leserin, lieber Leser.

Im Verlauf dieser sechs Lehrbriefe werden wir gemeinsam den elektrischen Hefter konstruieren, den Sie mit dem letzten Lehrbrief als Präsent erhalten. Er besteht aus über achtzig Bauteilen. Und Sie werden staunen, wie kompliziert ein so einfaches Maschinchen sein kann!

Sie werden die vier Grundrechenarten des *Mechanical CAD* kennen lernen: die Extrusion, die Rotation, die Austragung und die Ausformung. Sie werden lernen, dünne Blechteile zu konstruieren und luftige Oberflächen. Sie werden mit Zoom und Schnittansicht ins Detail gehen und gigantische Bibliotheken nach winzigen Bauteilen durchstöbern.

Natürlich fangen Sie mit den einfachsten Bauteilen an, um gründlich das Einmal-eins der virtuellen Konstruktion zu pauken. Mit den Kapiteln und den Lehrbriefen lernen Sie dann immer komplexere Techniken kennen. Am Ende steht der Zusammenbau aller dieser Einzelteile zum funktionsfähigen Hefter. Sie werden daraus Produktionsdaten (CAM) ableiten Zeichnungen anfertigen, die einem Konstruktionsbüro alle Ehre ...

Wissen Sie was? Ich *beneide* Sie.

In diesem Sinne, Ihr

Harald Vogel

Im Winter 2016

Der Lehrgang 3D-Konstruktion mit SolidWorks®

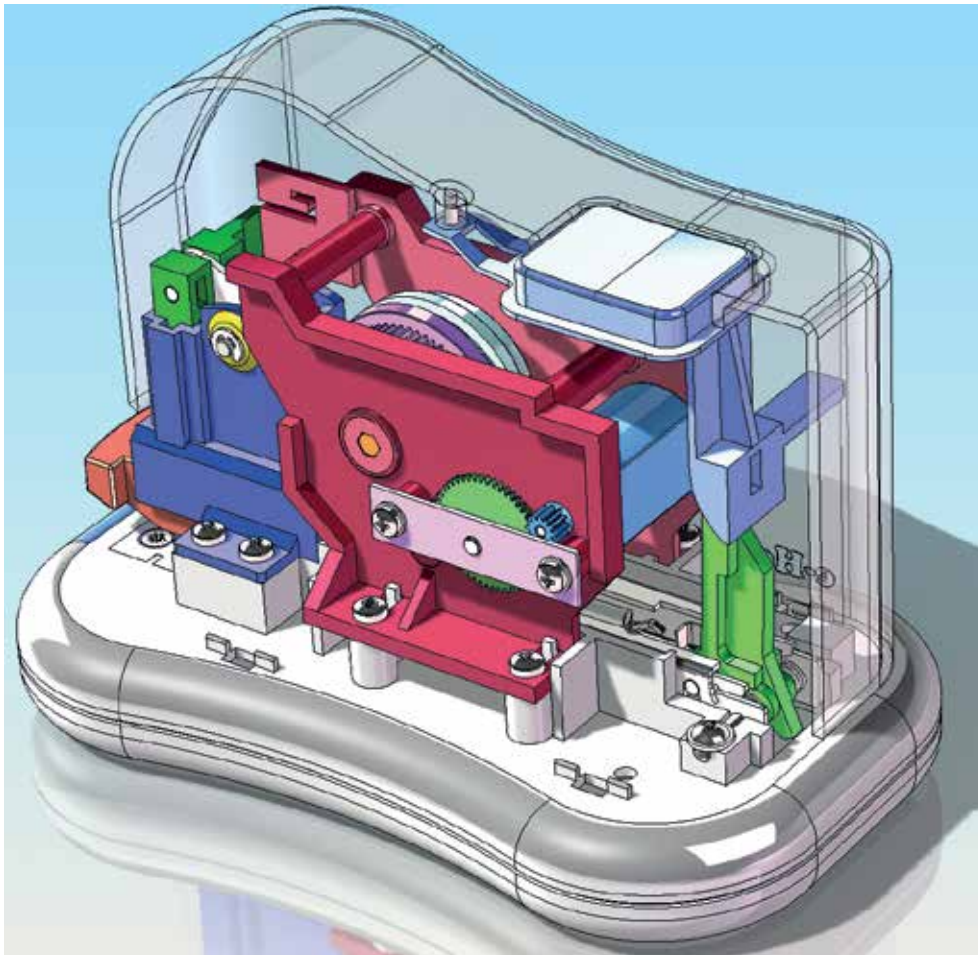
Das Material dieses Lehrgangs besteht in einem kompletten maschinenbaulichen Konstruktionsprojekt, einem elektrischen Hefter für den Schreibtisch – Consumer-Produkte sind schließlich das Standbein von SolidWorks!

Das Projekt

Dieser Hefter ist der gleiche, den Sie als physisches Gerät zusammen mit dem letzten Teil und dem Verdienstkreuz *Terrier 1. Klasse* von uns verliehen bekommen.

Am Bande, wenn Sie alle Prüfungen mit Eins-Loch bestehen!

Seine über achtzig Komponenten werden als Spritzguss-, Blech- und Drehteile ausgeführt, hinzu kommen Norm- und Zukaufteile. Das bedeutet fast den gesamten Funktionsumfang der Anwendung, inklusive Bauteilen, Baugruppen, Normteilen und Zeichnungsableitung.



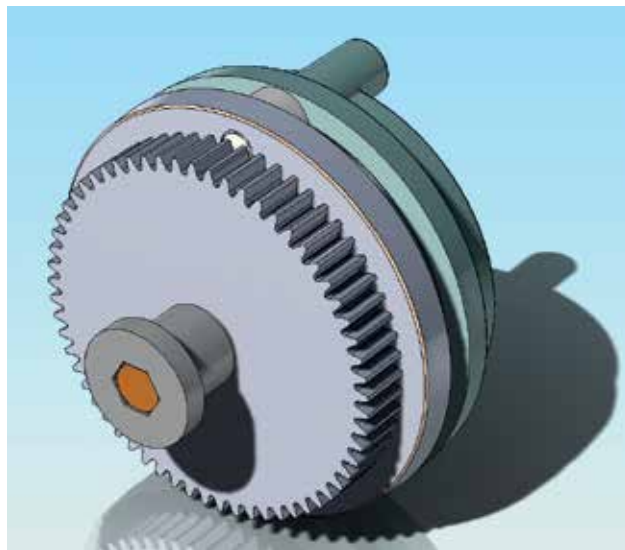
Die Bauteile sind von steigendem Schwierigkeitsgrad. Und so führen Sie die sechs Hefte des Lehrgangs denn auch von schlichten Achsen über Varianten- und Referenzteile bis hin zum gussgerechten, zweigeteilten Boden komplett mit Nut und Feder und Schraubdomen und Gummifüßen für die Montage.

Im Folgenden will ich Ihnen kurz die Baugruppen vorstellen, in denen wiederum die Einzelteile enthalten sind.

Alle Bauteile bis auf eines sind dem Namen nach einer der Baugruppen zugeordnet, und zwar mit einem Kürzel. Also wird ein Bauteil des **Exzentrers** mit **Ex** anfangen. Diese Kürzel stehen neben den Baugruppen-Namen in den Überschriften.

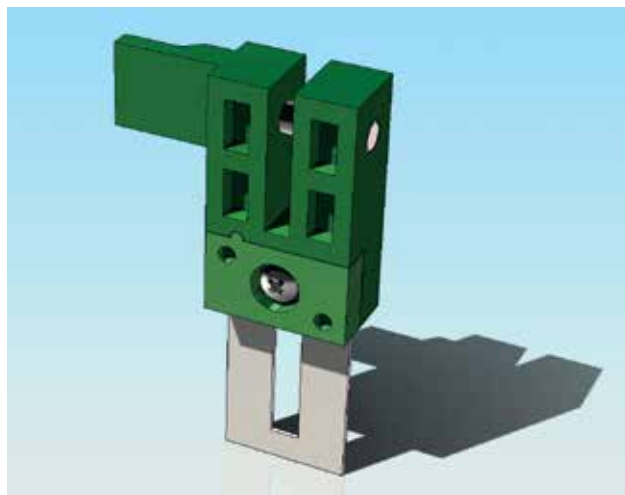
Der Exzenter [Ex]

Dies ist Ihre erste Baugruppe. Zusammen mit dem *Hebel* übersetzt der *Exzenter* die Drehbewegung des *Getriebes* in die Hubbewegung der *Stanze*.



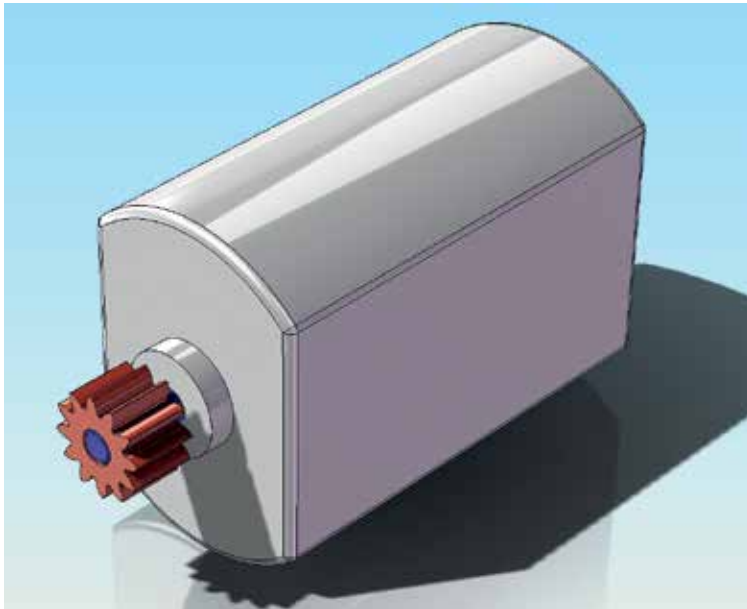
Der Schlitten [Schl]

Nächster im Bunde ist der *Schlitten*, der die Klammer durchs Papier stößt und ihre Enden mit Hilfe der *Stanzplatte* umbiegt.



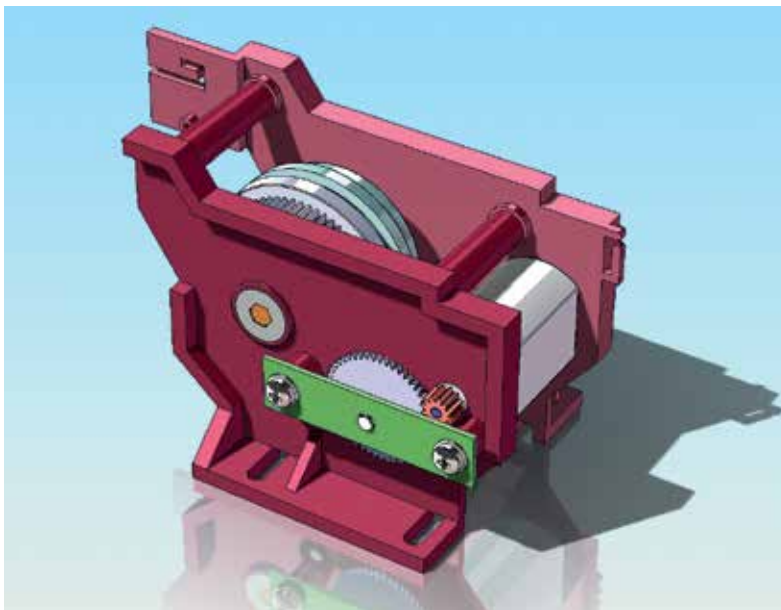
Der Motor [M]

Dies ist eigentlich nur eine Dummy-Einheit, denn der *Motor* wird nicht konstruiert, sondern gekauft. Aber wir benötigen einen Platzhalter für die Montage des *Getriebes* – und irgendwo müssen wir schließlich das Ritzel festmachen.



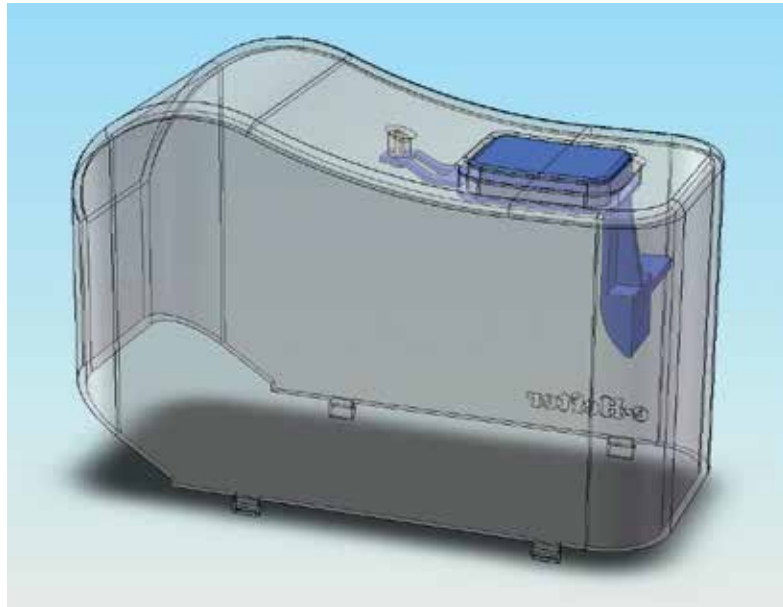
Das Getriebe [G]

Die bis dahin aufwendigste Arbeit! Das *Getriebe* übersetzt die hektischen Touren des batteriebetriebenen Motörchens in das erforderliche Drehmoment des Exzenter. Es umfasst seinerseits zwei Baugruppen: den *Motor* und den *Exzenter*.



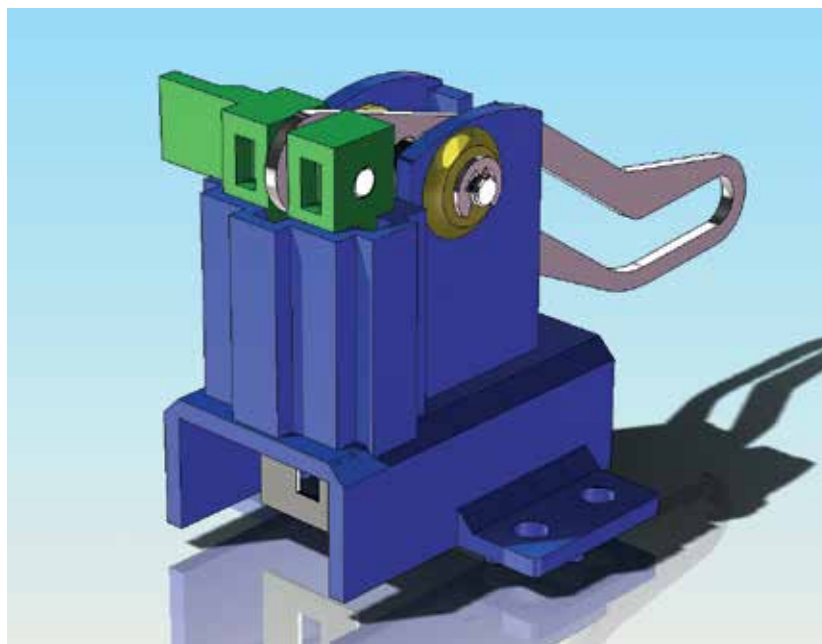
Die Haube [H]

Eine Staubschutz-Haube mit Auslöser für das Magazin ist der nächste Auftrag. Die *Haube* wird aus Acryl gefertigt und schnappt mit ihren vier Klinken in die Aufnahmen der *Bodengruppe* ein.



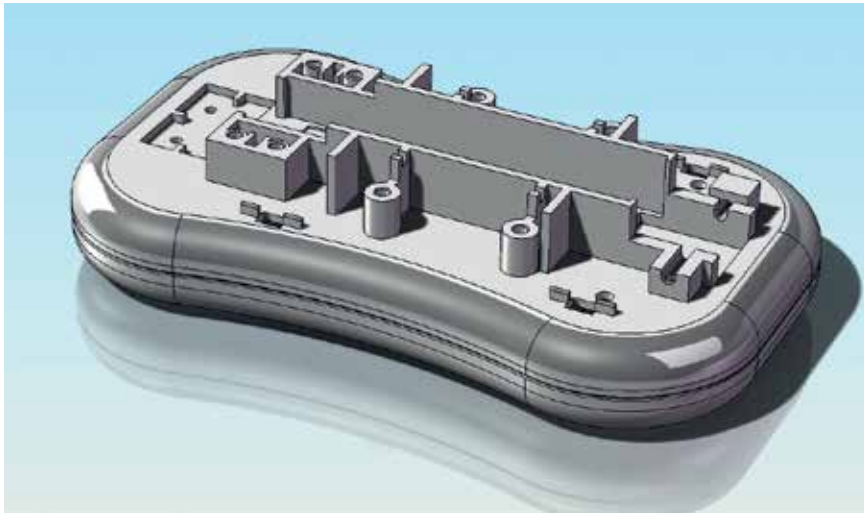
Die Stanze [St] mit Hebel

Die *Stanze* enthält die Baugruppe *Schlitten* und das Interims-Bauteil *Hebel* und ist für die Erzeugung einer ordentlichen Heftung verantwortlich.



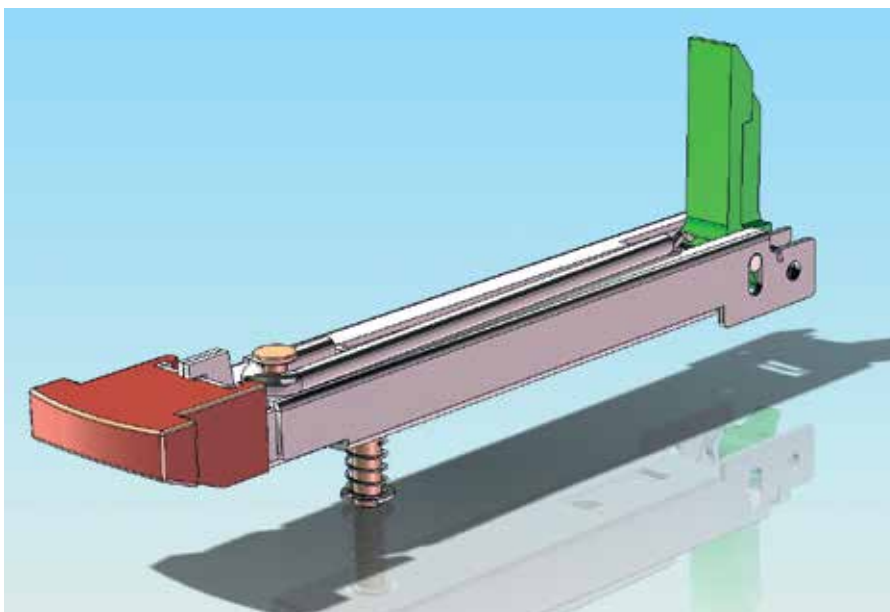
Die Bodengruppe [B]

Das Fundament des ganzen Geräts besteht aus zwei gussgerechten Halbschalen, die miteinander verschraubt werden. Sie nimmt die *Stanze*, die *Stanzplatte*, das *Magazin*, das *Getriebe* und die *Haube* auf.



Das Magazin [Mag] mit Arretierung [Ar]

Das *Magazin* ist der am leichtesten zu identifizierende Teil des Maschinchens. Wie in jeden handelsüblichen Hefter legen Sie hier die Klammer-Päckchen aus dem Schreibwarenladen ein. Technisch gesehen sind sie ein formbestimmender Faktor des Projekts, denn es gibt sie in nur sehr wenigen konfektionierten Größen. Das *Magazin* enthält die Baugruppe *Arretierung*.



Gebrauchsanleitung

Damit Sie vom Gebrauch dieses Lehrgangs maximal profitieren, gebe ich Ihnen einen Wegweiser mit.

Die sechs Teile bauen aufeinander auf, soviel ist sicher klar. Ebenso aber auch die Schwierigkeitsgrade: Die Lernkurve zeigt einen exponentiellen Verlauf, ähnlich einer Bergwanderung – anfangs leicht und geeignet für Halbschuh-Touristen, am Ende steinig, gratig und nur noch mit Bergführer-Kenntnissen zu schaffen.

erleiden war das Wort, das ich eigentlich suchte

Aber keine Sorge – all diese Kenntnisse werden Sie hier erwerben und erarbeiten:

- **Teil 1** erklärt die Bedienoberfläche, ihre Begrifflichkeiten und Einstellungen. Er wendet sich an diejenigen, die sowohl in den Gefilden des MCAD als auch in SolidWorks völlig neu sind und sich erst einmal anschauen möchten, was wohin gehört. Auch eine ergonomische Arbeitsplatzkonfiguration ist dabei. Und Sie gehen Ihre ersten Schritte in der parametrischen Konstruktion.
- **Teil 2** erklärt die Grundlagen der Bauteilkonstruktion. Die Beispiele steigen in ihrer Komplexität, wodurch Sie die hierarchische Denkweise des Mechanical CAD kennenlernen, seine strenge Logik, seine konzeptionelle Reinheit. Sie trainieren räumliches Denken und machen außerdem erste Bekanntschaft mit dem *Top-Down*-Modellieren, einem rekurrierenden Thema.
- In **Teil 3** steigen wir in die Variantenkonstruktion ein – ein weites Feld! Sie lernen außerdem ein ganzes Buch an Tricks und Kniffen im Umgang mit den Modellierwerkzeugen kennen – eben Teil 3. Außerdem: Bohrungen und Gewinde, Mehrkörper-Bauteile, externe Referenzen und deren Reparatur.
- In **Teil 4** lernen Sie, mit Referenzteilen zu arbeiten. Das sind Bauteile, die Sie als Schablone für andere Teile benutzen. Hier erzeugen Sie sogar spiegelbildliche Hälften und verwenden mehrere Schablonen für ein und das gleiche Teil! Außerdem arbeiten Sie mit Normteilen und erstellen zwei neue Baugruppen.
- **Teil 5** ist der Erstellung des Getriebes gewidmet. Sie lernen außerdem, im Baugruppenkontext zu modellieren. Erweiterte Baugruppenverknüpfungen wie Getriebe, Anschlag und Langloch stehen ebenso auf dem Programm wie skizzengesteuerte Muster und Spiegelungen.
- In **Teil 6** widmen Sie sich dem weiten Feld der Blechkonstruktion. Außerdem wickeln Sie Federn, bauen den Hefter zusammen und lassen SolidWorks ein paar Zeichnungen anfertigen. Bonus: Exzessive Anwendung der *SolidWorks Toolbox*, insidern bekannt als „Die Suche nach der Stecknadel im Stecknadelhaufen“.

Allgemeine Hinweise

- Jedes Kapitel beginnt mit einem Bild des Lernziels.
- Alle Modelle, Baugruppen und Zeichnungen befinden sich unter gleichem Namen auf den sechs Datenträgern, entsprechend dem Werdegang der sechs Teile. Das Verzeichnis heißt immer \MODELLE.

Nomenklatur

In diesem Lehrgang kommen unterschiedliche Formatierungen zum Einsatz:

- Spiegelpunkte – siehe links – bedeuten Arbeit. In diesem Format sind sämtliche Bauanleitungen gesetzt.
- *Kursiv* gesetzt sind alle Befehle und Funktionen, alle Optionen, Menüpunkte und Schaltflächen, aber auch die SolidWorks-spezifischen Fachbegriffe und die Objektnamen.
- Datei- und Verzeichnisnamen erscheinen in KAPITÄLCHEN.
- **Fett** sind Text- und Zifferneingaben gesetzt, die Sie bitte in Dialogboxen und Editierfelder eintragen wollen. Hierzu zählen auch die oben erwähnten Objekt- und Dateinamen.

Wenn also eine Datei **frisch abzuspeichern** ist, dann erscheint ihr Name in **Dieser Formatierung.SldPrt**, denn es ist ja etwas einzutippen. Eine **bestehende** Datei hingegen wird mit **DIESER FORMATIERUNG.SLDprt** hervorgehoben.

Gleiches gilt für neue Objektnamen, die – genau wie eben – in **Dieser Formatierung** erscheinen. Ein Bezug auf einen bestehendes Objekt wiederum erfolgt in *Dieser Formatierung*.

- Eingaben in Formel- oder Skriptsprache sind in einer Art **Schreibmaschinenschrift** gesetzt.
- Tastenbefehle oder sogenannte Shortcuts sind so dargestellt: **Alt+Eingabe**.
- **Fett Blau** sind Hervorhebungen allgemeiner Art gesetzt.

Tipps führen Ihnen oft alternative Methoden, Tricks und Kniffe vor Augen

Hinweise dienen zur weiterführenden Information, die über den Lehrstoff hinaus zu allgemeinem – und hoffentlich sehr nützlichem – Wissen führt.

Warnungen dienen dazu, Sie auf kritische Aspekte aufmerksam zu machen.

- Wenn Sie eine Anleitung sehen, die mit drei Pünktchen endet ...

... dann sollten Sie erst einmal weiterlesen, denn hier weise ich auf ein Problem mit der Methode oder der Software hin. Im folgenden Text wird dies näher erläutert.

Der Grund, warum ich Sie gelegentlich – aber nie zu sehr! – in die Irre laufen lasse, ist folgender: Ich glaube, dass Sie dadurch etwas Wichtiges lernen, etwas, das Sie bestimmt **nicht** lernen, wenn ich Sie wie auf Schienen sorglos von A nach Z geleite. Eingeweihte wissen: MCAD ist nicht so. Und darum ist dieser Lehrgang auch nicht so.

3 Drehteile en masse: Rotationskörper

Genauso häufig wie die Extrusion wird die **Rotation** angewendet, eine Funktion zur Erzeugung rotationssymmetrischer Körper wie Achsen, Wellen, Cognacgläser.

Um einen Volumenkörper zu rotieren, zeichnen Sie einen geschlossenen Querschnitt und eine Mittellinie. Der Querschnitt wird um diese Mittellinie rotiert, wodurch ein Regelkörper entsteht. Alle Drehteile können durch Rotation konstruiert werden – bei manchen allerdings fahren Sie besser mit der Extrusion: Der Trick besteht immer darin, das zweckmäßige Verfahren zu wählen.



3.1 Eine Achse für die Führung

Konstruieren Sie eine Achse mit zwei umlaufenden Kerben für Sicherungsscheiben:

- Erstellen Sie ein neues *Teil* und speichern Sie es sofort unter **St Führung Achse**.
- Erstellen Sie auf der *Ebene vorne* eine neue *Skizze*.

St steht für die Baugruppe *Stanze*, diejenige also, die mit dem Klammern befasst ist.



Diese Schritte werden Ihnen bald in Fleisch und Blut übergehen.

- Zeichnen Sie eine *Mittellinie* ein, die links vom Ursprung beginnt und etwa 40 mm lang ist.



3.1.1 Beschränkung üben

Die Kunst der Skizzenbeziehung – oder auch **Skizzenbeschränkung** – besteht darin, die Skizze nach Kräften zu automatisieren, sodass Sie am Ende mit einem Minimum an Bemaßungen auskommen. Dies ist auch der Weg zur voll bestimmten Skizze: Erst **zeichnen** Sie, dann **beschränken** Sie, dann **bemaßen** Sie, am Ende ist alles schwarz.

Wenn Sie nicht zu schief zeichnen, wird Ihre Skizze bereits bei der Erstellung *horizontal*, *vertikal* und *deckungsgleich* beschränkt. Dies geschieht durch die Funktion *Automatische Beziehungen*. Aber üben Sie für den Anfang ruhig einmal ohne Netz und doppelten Boden:

- Schalten Sie über das Menü *Extras*, *Skizzeneinstellungen*, *Automatische Beziehungen* aus.

Sie haben ja immer noch das *Gitter* und die Koordinatenanzeige unten in der Statusleiste.

8.58mm 1.63mm 0mm

- Wählen Sie *Linie* (Tastatur: **L**) und zeichnen Sie, vom Ursprung ausgehend nach oben, den geschlossenen Linienzug nach Abb. 3.1. Achten Sie nicht auf Genauigkeit, nur auf die Topologie, also die richtige Anzahl von Ecken und Kanten. Genauigkeit kommt beim MCAD immer erst im zweiten Schritt. Mit **Esc** oder Rechtsklick, *Auswählen* schließen Sie die Linie ab.



Abb. 3.1:

Auch bei Rotationsskizzen ist ein geschlossenes Profil gefragt



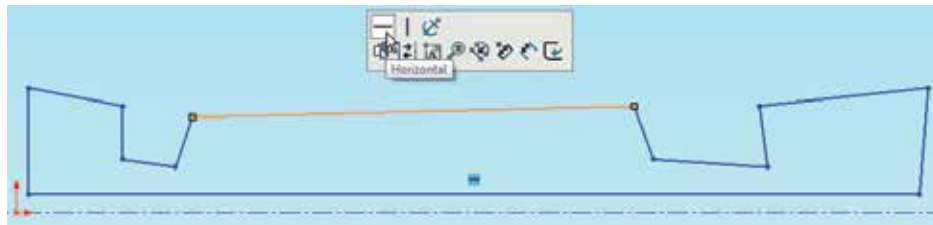
Wählen Sie *Elemente einblenden/ausblenden* und lassen Sie die *Skizzenbeziehungen* anzeigen.

Alle Linienstücke sollen zunächst horizontal oder vertikal beschränkt sein.

- Klicken Sie eine annähernd Horizontale an und wählen Sie aus der Kontext-Symboleiste *Horizontal* (Abb. 3.2). Die Linie wird ausgerichtet.

Abb. 3.2:

Automatische Beziehungen sind gefährlich, solange man ihre Funktionsweise nicht versteht



Führen Sie diesen Schritt für die fünf restlichen „Horizontalen“ durch. Fahren Sie dann analog mit den sechs „Vertikalen“ fort.



Abb. 3.3:

Die Richtung stimmt, doch es stehen noch zahlreiche Beschränkungen aus ...

- Verknüpfen Sie den linken, unteren Eckpunkt *deckungsgleich* mit dem Ursprung. Wählen Sie die beiden Punkte mit gedrückter **Strg**-Taste (Abb. 3.3).



Das ist also die Arbeit, die normalerweise die Funktion *Automatische Skizzenbeziehung* übernimmt. Dabei kennt sie insgesamt sechs Fälle, die den Löwenanteil der Beziehungs-Arbeit umfassen: *Vertikal*, *Horizontal* und *Deckungsgleich* kennen Sie schon; hinzu kommen *Mittelpunkt*, *Lotrecht* und *Tangential*.

Wie Karl Klammer, nur nützlich.

Die Übung hat den folgenden Hintergrund, der Ihnen vielleicht auch schon beim Experimentieren auffiel: Wenn Sie annähernd horizontal, vertikal oder orthogonal skizzieren, so werden die Linien wie von Geisterhand geradegezogen und an zufällig in der Nähe befindlicher Geometrie angeheftet. SolidWorks versucht, Ihre Intention zu erraten und Ihnen so Arbeit abzunehmen.

Solange Sie genau wissen, was das Programm da macht, ist dagegen auch nichts einzuwenden. Doch zu Beginn möchte ich Ihnen ans Herz legen, dass Sie sich mit den Skizzenbeziehungen selbst auseinandersetzen. Denn je gründlicher Sie das tun, um so besser werden Sie dem Programm später einmal sagen können, was es zu tun hat – und nicht anders herum!

- Schalten Sie die *automatischen Beziehungen* jetzt wieder ein.
- Ziehen Sie den rechten, unteren Endpunkt, so springt sofort die Automatik an und schlägt eine *deckungsgleiche* Verknüpfung vor. Das erkennen Sie an dem kleinen Label neben dem Cursor, das nun **gelb** statt weiß unterlegt ist – der Indikator dafür, dass die automatischen Skizzenbeziehungen aktiv sind.



3.1.2 Elemente ausrichten

Obwohl die Elemente auf das Koordinatensystem ausgerichtet sind, fehlt noch die Ausrichtung der Objekte **aufeinander**, denn wir wollen ja eine Achse konstanten Durchmessers mit zwei Kerben. Das bedeutet, die beiden horizontalen Randlinien und das Stück in der Mitte müssen kollinear aufeinander ausgerichtet werden:

- Markieren Sie mit **Strg** die beiden Randlinien und das Mittelstück (Abb. 3.4).

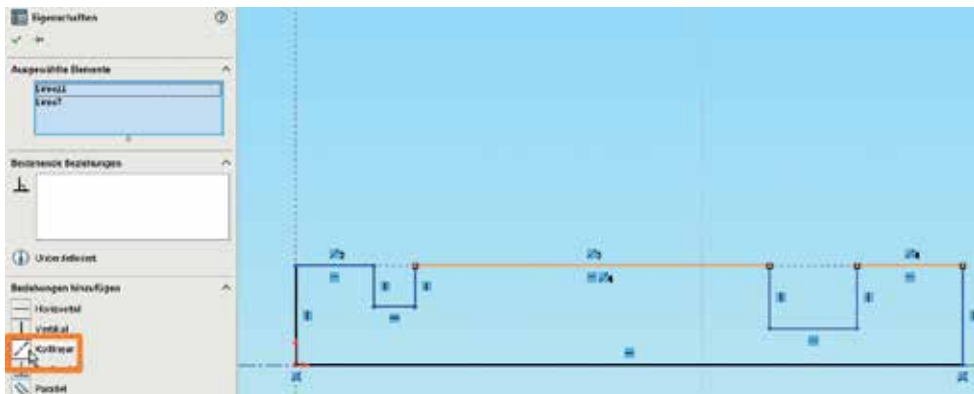


Abb. 3.4:
Kollineares Ausrichten der horizontalen Linienstücke

- Wählen Sie entweder in der Kontext-Symboleiste oder im PropertyManager die Skizzenbeziehung *Kollinear* (Kasten).



Wenn Sie die Linien anständig schief gezeichnet haben, springen sie jetzt in Position. Wenn Sie jedoch die *Skizzenbeziehungen* sichtbar machen, erkennen Sie, dass nicht *alle drei* Elemente miteinander verknüpft wurden, sondern in Wahrheit zwei **Paare** gebildet wurden: Die mittlere Linie besitzt zwei *Kollinear*-Labels! Die Beziehung *Kollinear* ist also ebenfalls binär. Oder auf Algebraisch: Bei n Elementen werden $n-1$ Paare gebildet.



- Verknüpfen Sie nun auch die beiden kurzen Horizontalen der Nuten kollinear miteinander, denn die Nuten sollen identisch sein.



3.1.3 Gleiche Elemente

Die Nuten sollen identisch sein – das bedeutet, sie haben auch die gleiche Breite:

- Wählen Sie nochmals die beiden kurzen Horizontalen und klicken Sie auf die Skizzenbeziehung *Gleich*. Nutzen Sie ruhig die Kontext-Symboleiste, das geht schneller (Abb. 3.5).



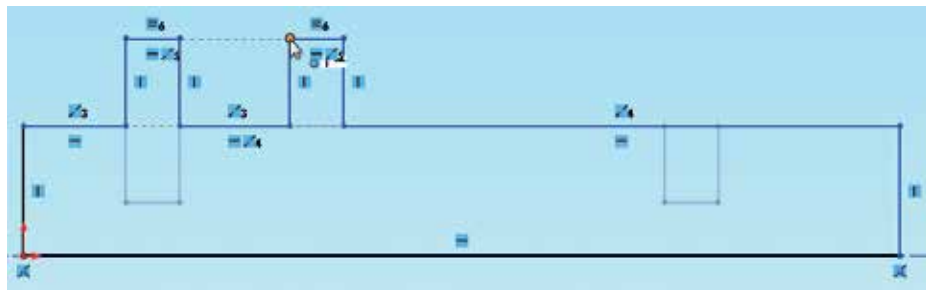
Abb. 3.5:
Zwei Linien erhalten
die gleiche Länge



Es ist interessant zu sehen, was die Skizzenbeziehungen mit den Elementen anstellen:

- Ziehen Sie eine der Nuten in verschiedene Richtungen, so folgt die andere in mancherlei Hinsicht auf dem Fuße (Abb. 3.6).
- Auch die drei kollinear verbundenen Stücke verhalten sich synchron.

Abb. 3.6:
Überprüfen der korrekten
Beschränkung der Skizze



- Richten Sie die Objekte dann in etwa wieder so aus wie vorher.

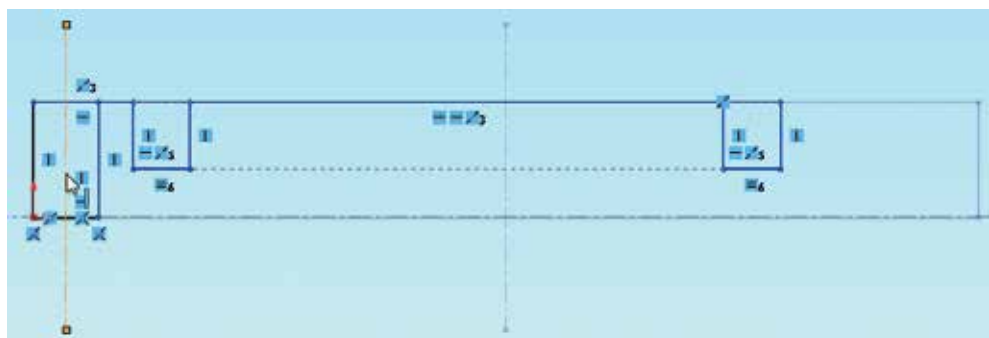
3.1.4 Ausnutzung von Symmetrie

Die beiden Nuten sind identisch, aber auch gleich weit von den Enden entfernt. Zeit für ein wenig Symmetrie:



- Zeichnen Sie eine vertikale *Mittellinie* durch die Kontur. Wählen Sie mit gedrückter **Strg**-Taste diese Mittellinie und den **Mittelpunkt** der unteren, durchgezogenen Horizontalen. Achten Sie dabei auf die Anzeige und das Icon des Cursors.
- Wenn Sie die Mittellinie bewegen, muss das rechte Ende in doppelter Geschwindigkeit mitgehen (Abb. 3.7). Machen Sie auch diese Bewegung rückgängig.

Abb. 3.7:
Häufiger Fall: Eine zweite
Mittellinie für die Achsensymmetrie
des Querschnitts selbst



Der Sinn der Symmetrielinie kommt aber erst jetzt zum Tragen:

- Markieren Sie die Mittellinie und die beiden kurzen inneren Vertikalen der Nuten und verknüpfen Sie auch diese drei *symmetrisch* miteinander (Abb. 3.8).

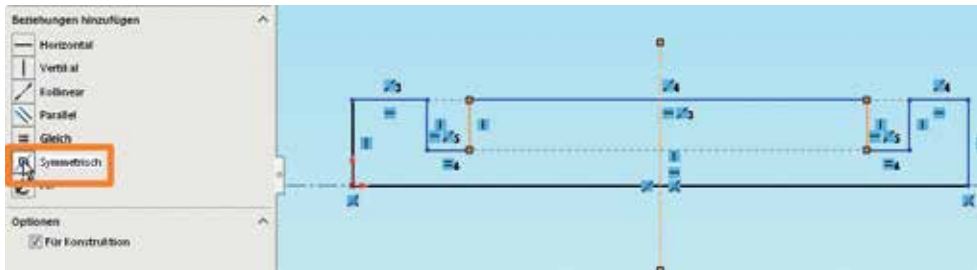


Abb. 3.8:
Die beiden Innenseiten der Nuten werden symmetrisch aufeinander ausgerichtet

Es ist durchaus faszinierend, was Sie mit der Skizze jetzt alles anstellen können.

- Ziehen Sie an beliebigen Punkten und Seiten, die Skizze reagiert stets symmetrisch und harmonisch. Nicht dass sämtliche Variationen unbedingt auch Sinn ergeben müssten (Abb. 3.9)!

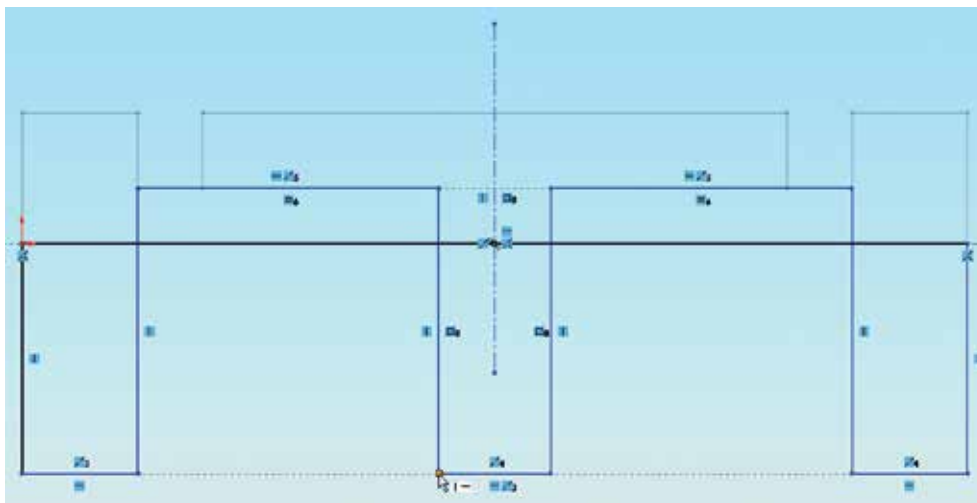


Abb. 3.9:
Synchronschwimmer-Verein:
Alle Elemente befinden sich in Beziehung zueinander – die Skizze kann bemaßt werden!

- Bemaßen Sie zunächst die untere Horizontale – die Länge über alles skaliert die Skizze in etwa passend (Abb. 3.10).

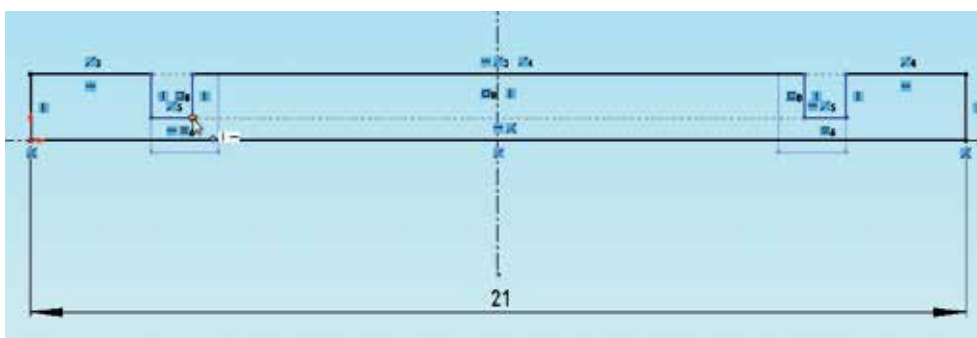


Abb. 3.10:
Die ersten Maße verziehen die Kontur recht heftig



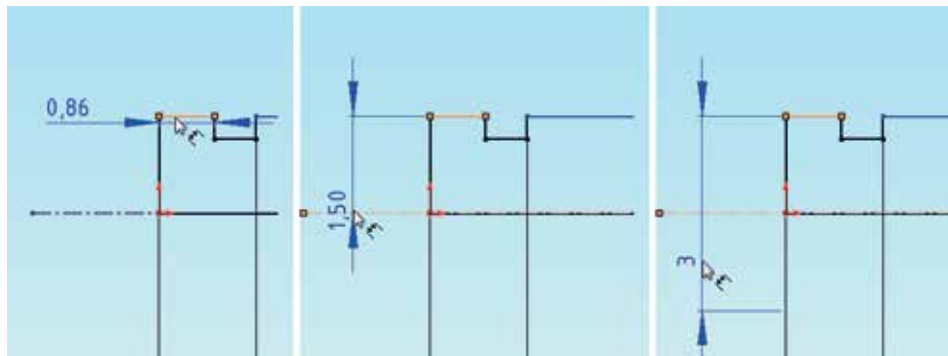
- Da Sie jetzt fertig sind mit den Skizzenbeziehungen und es ohnehin ein wenig voll wird im Editor, können Sie sie ausblenden. Wie das geht, wissen Sie noch? Gut.

3.1.5 Doppelter Abstand als Durchmesser-Ersatz

Der Durchmesser ist hier natürlich nur ein Halbmesser, da es sich ja um eine Rotations-skizze handelt. Statt aber die Hälfte des gewünschten Durchmessers anzugeben und damit falsche Maße in die Zeichnung einzuführen, arbeiten wir hier mit einer Sonderfunktion der Intelligenzen Bemaßung: dem Doppelten Abstand:

- Mit eingeschalteter Bemaßungsfunktion klicken Sie erst auf die obere Horizontale, dann auf die horizontale Mittellinie – **nicht** auf die durchgezogene Konturlinie, denn so funktioniert es nicht (Abb. 3.11 links und Mitte).
- Zeigen Sie zur Platzierung des Maßes auf einen Punkt unterhalb – allgemein: auf der anderen Seite – der Mittellinie, so erkennt SolidWorks Ihre Absicht, einen Durchmesser zu definieren und verdoppelt die Maßzahl. Klicken Sie und geben Sie als Durchmesser 3 mm an (rechts).

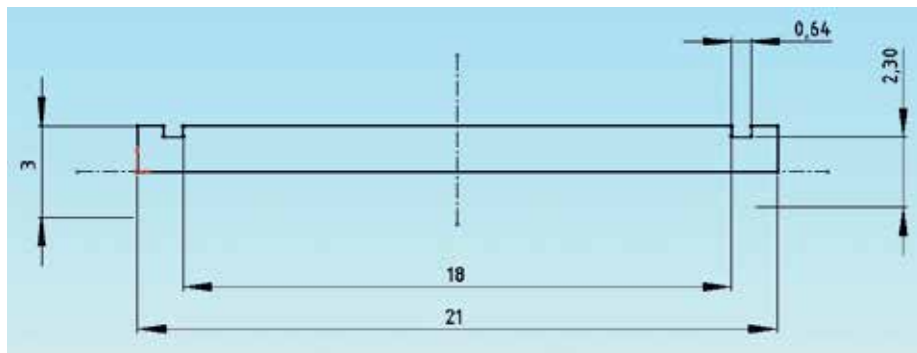
Abb. 3.11:
Anlegen eines Doppelten Abstandes



Der Rest der Bemaßungen ist ziemlich einfach:

- Der wichtigste Längenabstand ist derjenige zwischen den beiden Kerben, also bemaßen Sie ihn mit **18 mm** (Abb. 3.12).

Abb. 3.12:
Fast fertig: Der Querschnitt der Achse



- Die Nutbreite beträgt **0.64 mm** für eine Sicherungsscheibe nach *DIN 6799 2.3* für einen Nenndurchmesser von 3 mm.

Warum der Abstand 0.86 mm an den Enden nicht bemaßt werden muss? Einfach, weil er sich durch die Symmetrie und die anderen Bemaßungen von selbst ergibt. Und zwar widerstandslos. Prüfen Sie's nach!

- Die Nuttiefe entsteht durch den Restdurchmesser, und den bemaßen Sie wiederum über einen *Doppelten Abstand* zu **2.3 mm**.

Solche Daten entnehmen Sie einem guten Tabellenbuch für Maschinenbau oder einem der vielen Lieferanten im Web.

Viele von ihnen, beispielsweise *www.TracepartsOnline.net*, erlauben sogar den Download normgerechter Modelle, ganz ähnlich wie die *SolidWorks Toolbox*. Sollten Sie dort also einmal nicht fündig werden – im Web finden Sie es garantiert!

- Die Skizze sollte jetzt vollständig schwarz und damit *voll definiert* sein. Schließen Sie sie, nennen Sie sie via **F2 Sk Achse** und speichern Sie die Datei.
- Klicken Sie in der Symbolleiste *Features* auf *Aufsatz/Basis rotiert*.



Der PropertyManager würde normalerweise schon jetzt mit einer Vorschau der Rotation erscheinen, doch in dieser Skizze befinden sich **zwei** Mittellinien – Sie müssen also wählen:

- Klicken Sie auf die horizontale Mittellinie des Profils, und die Vorschau wird erzeugt (Abb. 3.13).

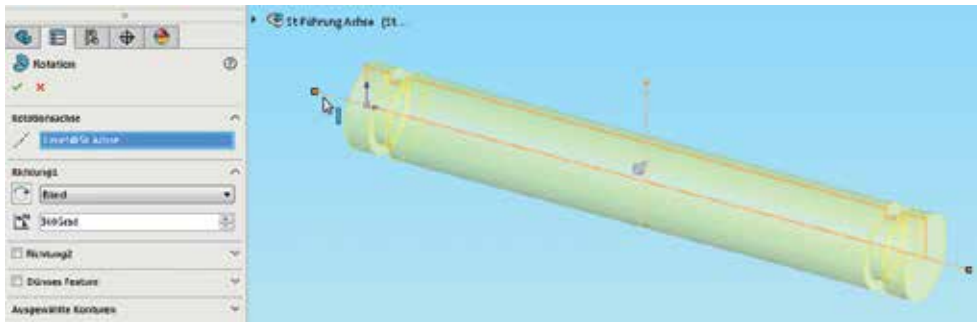


Abb. 3.13:
Vorsicht der rotierten Achse

- Belassen Sie die Einstellungen auf ihren Defaults, also eine *blinde* Rotation um 360°, wodurch ein Vollkörper entsteht.
- Nennen Sie die Rotation **R Achse** und speichern Sie sie erneut. In Abb. 3.14 ist der Historienbaum des Bauteils zu sehen.

