DIGI Workflow zur Rekonstruktion von Leiterplatten

WFL007 | Version 001 | 2026-10-19

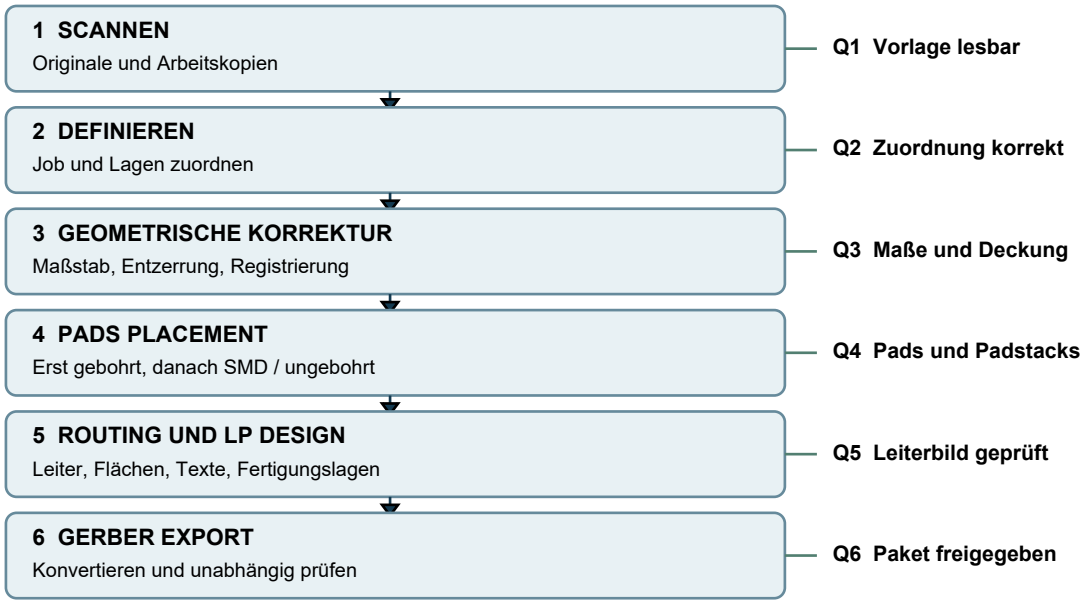
Schulungsmodul für Anwender und Digitalisierungsdienstleister. Grundlage ist der vom Benutzer am 19.10.2026 vorgegebene DIGI-WORKFLOW. Ziel ist ein nachvollziehbarer Weg von der Vorlage über die Rekonstruktion bis zum geprüften Ausgabepaket. Die Reihenfolge der sechs Hauptphasen bleibt erhalten.

Lernziel und Ablauf

Nach der Schulung kann der Anwender Vorlagen einem Job zuordnen, geometrische Referenzen prüfen, Pads in der richtigen Reihenfolge erfassen, Leiterstrukturen rekonstruieren und die Voraussetzungen für den Gerber-Export beurteilen. Er kann einen Arbeitsstand sichern und offene Punkte so dokumentieren, dass eine andere Person weiterarbeiten kann.

Auslöser: Ein Digitalisierungsauftrag mit Filmen, grafischen Kundendaten oder Leiterplattenmustern liegt vor. Voraussetzungen: freigegebene Vorlagen, bekannte Lagenzuordnung, verfügbare Maßreferenzen und beschreibbarer Arbeitsbereich. Verantwortlich ist der Bearbeiter; die abschließende Freigabe übernimmt die fachlich zuständige Person. Eine zweite Person für die Endkontrolle ist empfohlen, aber keine hier behauptete betriebliche Vorgabe.

Gesamtergebnis: ein wieder ladbarer RE-CAD-Job und ein unabhängig geprüftes Ausgabepaket mit dokumentierten Einschränkungen. Solange der benötigte Exportumfang nicht unterstützt wird, endet der Ablauf mit einem gesicherten Rekonstruktionsstand und offener Ausgabefreigabe.



Bei Q nicht bestanden: Ursache beheben und betreffenden Schritt erneut prüfen.

Die Prüfpunkte Q1 bis Q6 sind Übergaben zwischen den Phasen. Ein nicht bestandener Prüfpunkt führt zur zugehörigen Bearbeitung zurück. Korrekturen am Maßstab nach der Objekterfassung erfordern erneut die Prüfung aller betroffenen Pads, Leiterzüge und abgeleiteten Lagen.

Umsetzung und Schulungsstand

Menübezeichnungen folgen Source 482 und bleiben englisch. Vorhandene Menüs und Routinen sind keine pauschale native Funktionsabnahme. Die fachliche Prozessbeschreibung gilt über eine einzelne Version hinaus. Drei Kennzeichnungen helfen bei der Schulung: **Extern** für Arbeiten vor RE-CAD, **Vorhanden** für gelesene Funktionen in 482 und **Soll** für noch zu konkretisierende oder zu prüfende Erweiterungen. Übungen erfolgen an Jobkopien.

1 Scannen und Vorlagen vorbereiten

Aufgaben: Filme, grafische Kundendaten oder präparierte Leiterplattenmuster digital erfassen. Bei Multilayern stammen Innenlagen gegebenenfalls aus Schleifen, Röntgen oder Tomografie. Die Auswahl und Eignung dieses Erfassungsverfahrens liegt außerhalb von RE-CAD. Bei Bedarf Bilder extern nachbearbeiten, beispielsweise in Adobe Photoshop. Dateien in einem eindeutigen Auftragsverzeichnis ablegen, etwa PCX als vorhandenes Austauschformat.

Inputinformation: Vorlagen, Kunden-/Auftragskennung, Lagenfolge, bekannte Maße, Scanauflösung, Orientierung und gegebenenfalls Informationen zum Präparations- oder Aufnahmeverfahren.

Outputinformation: Unveränderte Originaldateien und getrennte Arbeitskopien; Verzeichnis mit Lagen-/Dateiliste, tatsächlicher Auflösung und dokumentierten Bearbeitungsschritten. Originale nicht überschreiben. Der Name PCX kann ein Verzeichnis oder ein Format bezeichnen; die tatsächlich gespeicherte Dateikodierung bleibt maßgeblich.

Funktion und Status: Extern: Scanner, Bildbearbeitung und Dateiverwaltung. RE-CAD übernimmt anschließend geeignete Raster- beziehungsweise Farbvorlagen. Ein Röntgen- oder Tomografiebild ist nicht automatisch ein isoliertes, vollständiges Lagenbild.

Qualitätssicherung Q1: Vollständigkeit, Kontrast, erkennbare Pad- und Leiterkanten, Maßreferenz, richtige Seite und Zuordnung prüfen. Durch Interpolation erhöhte dpi erzeugen keine zusätzlichen Originaldetails. Ergänzungen und Glättung als Bearbeitung kenntlich machen; keine unbeabsichtigten Verbindungen erzeugen.

Abbruch und Nachweis: Bei unlesbarer Vorlage, fehlender Lage oder widersprüchlichen Referenzen Auftrag klären oder neu erfassen. Nachweis: Original-/Arbeitsdateiliste und kurze Sichtprüfung mit benannten Problemstellen.

2 Job und Lagen definieren

Aufgaben: Neuen RE-CAD-Job anlegen, benennen, Lagen definieren und Grafiklagen zuordnen. Nur tatsächlich bekannte Funktionen und Seiten zuweisen. Import beziehungsweise Vorbereitung der zugeordneten Grafiken ausführen.

Inputinformation: Freigegebene Arbeitsvorlagen aus Schritt 1, Auftragskennung, fachliche Lagenfolge, Lagentypen und Zuordnung der Dateien zu den physischen Lagen.

Outputinformation: Gespeicherter Job mit nachvollziehbaren Typ- und Grafikzuordnungen. Die Anzeige einer Grafik allein belegt noch keine richtige Kalibrierung.

Funktion und Status: Vorhanden: File / Job / New; anschließend Lagen-Dialog; File / Job / Define Job (Lagen-/Grafikdefinition); Graphics / Raster Import / Single oder Multiple (Defined Layers). Farbvorlagen: Graphics / Import Color Background (Top). Exakten Importweg an Dateityp und Schulungsversion prüfen. Source 482 führt nach erfolgreicher benannter Jobanlage den Lagen-Dialog aus.

Qualitätssicherung Q2: Jobname, alle benötigten Lagen, Dateizuordnung, Auflösung, Orientierung und sichtbarer Bildinhalt vergleichen. Speichern und Wiederladen kontrollieren; noch keine Maße als freigegeben behandeln.

Abbruch und Nachweis: Bei Importfehlern oder falscher Zuordnung nicht mit Ersatzannahmen fortfahren. Nachweis: Jobname, RE-CAD-Version, Lagen-/Dateiliste und erfolgreicher Wiederladevergleich.

3 Geometrisch korrigieren und registrieren

Aufgaben: Maßstab und Orientierung korrigieren, Vorlagen entzerren und die Lagen auf gemeinsame Referenzen registrieren. Referenzen können Padpositionen, Konturen, Befestigungsbohrungen und weitere identifizierbare Elemente sein. Globale oder partielle Entwurfsraster, Kundenzeichnungen, Bauteildatenblätter und vorhandene Bohrprogramme unterstützen die Beurteilung. Statistische Ergebnisse gegen unabhängige Maße prüfen.

Inputinformation: Zugeordnete Rasterlagen, verlässliche Quell-/Zielpunkte, Maßreferenzen, angenommene Raster und dokumentierte lokale Abweichungen.

Outputinformation: Korrigierte Arbeitsgrafiken und ein Protokoll der Referenzen mit verbleibenden Fehlern. Originalgrafiken und Transformations-/Matchdaten erhalten, soweit der verwendete Weg sie speichert; fehlende Angaben zusätzlich im Protokoll sichern.

Funktion und Status: Vorhanden: Graphics / Calibrate / Manual / Current Graphic (4 Points); Automatic / All to Graphic, All to Design oder Auto Grid Workflow (Defined Layers). Farbvorlagen besitzen einen eigenen Vierpunktweg. Graphics / Compare unterstützt den Bildvergleich. Die Menüexistenz belegt keinen allgemeinen nichtlinearen Korrekturmodus. Nichtlineare lokale Entzerrung ist hier **Soll** und muss mit Modell, Parametern und Abnahme konkretisiert werden.

Qualitätssicherung Q3: Räumlich verteilte Kontrollstellen außerhalb der verwendeten Matchpunkte prüfen. X-/Y-Maße, Diagonalen, Randbereiche und Lagenregistrierung kontrollieren. Zulässige Toleranzen auftragsbezogen festlegen; diese Schulung erfindet keinen universellen Grenzwert.

Abbruch und Nachweis: Bei lokalen Sprüngen, zerrissenen Kanten oder widersprüchlichem Raster Referenzen und Vorlage prüfen. Nachweis: Vorher-/Nachher-Überlagerung, Kontrollmaße und freigegebene Restabweichung. Spätere Geometrieänderungen lösen eine erneute Objektprüfung aus.

4 Pads in verbindlicher Reihenfolge platzieren

Aufgaben: Erkannte Padformen und Maße in der D-Code-Tabelle definieren, bei Bedarf mit automatischer Erkennung. **Zuerst Pads mit Bohrungen setzen:** in erkannten Rastern, nach Zeichnung, nach Bohrprogramm oder frei, beispielsweise Vias. **Danach SMD-Pads und andere Pads ohne Bohrungen setzen.**

Inputinformation: Freigegebene Grafikgeometrie, Padmaße, Raster, Zeichnungen beziehungsweise Bohrdaten und bekannte Zuordnungen je Lage. Bohrdurchmesser und Metallisierung nur übernehmen, wenn belegt.

Outputinformation: Geprüfte Padpositionen, D-Code-Referenzen und lagenbezogene Padstack-Zuordnungen. Ein gemeinsamer Padstack verlangt keine identischen SIG-/LSM-/PWR-Padgrößen. SMD-Pads nicht pauschal auf alle Lagen verteilen.

Funktion und Status: Vorhanden: Design / D-Code / Edit D-Code Table; AutoFind / Pads / Identify Pad D-Codes, All oder Area; Add Design / Pad mit manuellen/numerischen Wegen; Match Padstacks Across Layers. Vollständiger automatischer D-Code-Neuaufbau und Ableitung unbekannter Bohrparameter sind **Soll**, keine Voraussetzung, die der Anwender als erledigt annehmen darf.

Qualitätssicherung Q4: Zuerst Bohr-/Padlage, dann SMD-Lage prüfen. Maß, Mittelpunkt, Orientierung, D-Code und lagenabhängige Zuordnung kontrollieren; fehlende Pads und Doppelungen suchen. Snap kann helfen, darf aber eine abweichende belegte Position nicht unbemerkt ersetzen.

Abbruch und Nachweis: Unbekannte Maße oder unklare Durchkontaktierung offen markieren. Nachweis: gesicherter Padstand, verwendete Referenzen, Prüfliste und offene Zuordnungen.

5 Leiterbild und Fertigungslagen rekonstruieren

Aufgaben in Arbeitsreihenfolge: Vorhandene Leiterbreiten in der D-Code-Tabelle definieren. Leiterzüge nach erkannten Routingregeln mit Raster und 90-/45-Grad-Führung oder frei rekonstruieren. Kupferflächen durch geeignete Leiterstrukturen oder echte gefüllte Polygone erstellen. Beschriftungen in Kupferlagen und Bestückungsdruck ergänzen. Lötstopp- und SMD-Schablonenlagen aus fachlich ausgewählten Pads der Außenlagen ableiten und nacharbeiten.

Inputinformation: Abgenommener Padstand, korrigierte Rastergrafiken, Leiterbreiten, Routingraster, Winkelregeln, Flächenkonturen, Textvorlagen und Vorgaben für Masken-/Pastenöffnungen.

Outputinformation: Bearbeitbares Leiterbild je Lage einschließlich Flächen und Beschriftungen; zugeordnete Hilfs-/Fertigungslagen und dokumentierte Ausnahmen. Positionen, Aperturen und Bohrungen bleiben voneinander unterscheidbar.

Funktion und Status: Vorhanden: Design / Add Design / Line und Text; D-Code-Tabelle; AutoFind / Lines / Find All (Active) oder Find Area (Top); Power/Mix für entsprechende Teilobjekte. Find-Ergebnisse bleiben prüfpflichtig. Die getrennte automatische Line-D-Code-Erkennung ist im Menü von 482 als geplant gekennzeichnet. Eine automatische vollständige Erzeugung von Bestückungsdruck, Lötstopp und SMD-Schablonen aus ausgewählten Pads ist in diesem Schulungsmodul **Soll**; keine unbestätigte Ein-Klick-Funktion anleiten.

Qualitätssicherung Q5: Rasterüberlagerung mit Leiterbild vergleichen. Offene Verbindungen, ungewollte Brücken, Breitenwechsel, Padanschlüsse, Winkel, Rasterausnahmen sowie Flächenlöcher und Inseln prüfen. Bei PWR/MIX die Reihenfolge positiver und negativer Teile beachten. Bildbasierte Netze sind ein Analysehilfsmittel und keine bestätigte elektrische Soll-Netzliste.

Lötstoppöffnungen und Pastenöffnungen benötigen getrennte fachliche Regeln. Eine Padkopie ist ein Ausgangspunkt, keine Fertigungsfreigabe. Insbesondere freie Vias, Durchkontaktierungen, Pastenreduktionen, Aussparungen und Ausnahmen bewusst auswählen. Beschriftung auf Lesbarkeit, Orientierung und Konflikte mit Pads prüfen.

Abbruch und Nachweis: Bei unklarer Verbindung zurück zur Vorlage oder zu Q3/Q4; bei unbekannten Fertigungsvorgaben Ableitung zurückstellen. Nachweis: Vergleichsbilder kritischer Stellen, verwendete Breiten-/Rasterregeln, gespeicherter Job und Liste nicht aufgelöster Abweichungen.

Rücksprünge und Sicherung

Nach Q2 bis Q5 jeweils einen nachvollziehbaren Arbeitsstand sichern. Vor umfangreicher automatischer Erkennung oder Ersetzung eine getrennte Vergleichskopie verwenden. Nach einem Versions- oder Jobwechsel den richtigen Jobnamen und Lagenstand prüfen. Automatische Sicherungsfunktionen ersetzen keinen kontrollierten Wiederladevergleich.

Wenn Padpositionen geändert werden, betroffene Leiteranschlüsse sowie abgeleitete Masken-/Pastenlagen erneut prüfen. Wenn nur eine Leiterbreite geändert wird, betroffene Abstände und Anschlüsse erneut prüfen. Bei einer geänderten geometrischen Kalibrierung ist eine erneute Prüfung aller davon abgeleiteten Objekte erforderlich.

6 Gerber exportieren und Ergebnis freigeben

Aufgaben: Freigegebene Designlagen in Gerber RS-274X konvertieren, benötigte Bohr-/Konturdaten getrennt bereitstellen und das ausgegebene Paket unabhängig prüfen. Der Export ist erst nach Ergebnisprüfung abgeschlossen.

Inputinformation: Wieder ladbarer, geprüfter Job; Ausgabeumfang mit physischen Lagen, Typ/Seite, Ursprung, Einheiten und Revision; unterstützte Objekte; bestätigte Bohr- und Fertigungsangaben.

Outputinformation: Versioniertes Ausgabepaket mit vollständiger Dateiliste und Prüfprotokoll oder ausdrücklich gesperrter Ausgabe mit Fehlerliste. Keine einzelne vorhandene Datei als Beleg für ein vollständiges Paket behandeln.

Funktion und Status: Vorhanden: File / Export / Production Data (Active), intern speichern()/gerb(), mit Lagenwahl und getrenntem Bohrpfad. Source 482 sperrt diese Ausgabe bei gespeicherten beziehungsweise ungültigen P/N/P-Teilobjekten. Diese Sperre nicht umgehen. Vollständige Regions-/P/N/P-Ausgabe und modernisierter Writer sind gemäß FMT001 **Soll**. Bei anderen Schulungsversionen die Menübezeichnung erneut prüfen.

Qualitätssicherung Q6: Jede Datei unabhängig öffnen; gemeinsame Ursprünge und Maßstab, Lagenvollständigkeit, Pad-/Leitermaße, Flächen/Polarität und Deckung von Bohrungen kontrollieren. Voransicht mit dem freigegebenen Job vergleichen. Erst danach Ausgabepaket zur Übergabe kennzeichnen.

Abbruch und Nachweis: Nicht unterstützte Objekte, unbekannte Durchmesser, fehlende Lagen oder unplausible Vorschau blockieren die Übergabe. Nachweis: Job-/Softwareversion, Dateiliste, Ausgabeparameter, Vergleichsbilder, Soll/Ist-Ergebnisse, Datum und fachliche Freigabe. Übergeordnete Kundenfreigaben richten sich nach dem Auftrag.

Schulungsübung und Übergabe

Übungsjob: Zwei bekannte Außenlagen, eine bekannte Maßreferenz, gebohrte Pads, mindestens ein SMD-Pad, eine 45-Grad-Verbindung und eine Fläche. Die Fläche bewusst als Test für die Ausgabefähigkeit der eingesetzten Version verwenden. Alle Aufnahmen, Maße und Sollpositionen vor der Übung bereitstellen; keine produktiven Kundenjobs verändern.

Abnahme: Der Teilnehmer erläutert die sechs Phasen, führt Q1 bis Q5 an der Arbeitskopie aus, hält die Padreihenfolge ein und prüft Save/Open. Für Q6 führt er entweder einen nachgewiesen unterstützten Export mit unabhängiger Sichtprüfung aus oder erkennt und dokumentiert die bestehende Sperre richtig. Eine erkannte Einschränkung ist kein erfolgreicher Gerber-Fertigungsexport.

Übergabeprotokoll: Auftrag und Job; Vorlagendateien; Lagenliste; Referenzmaße und Raster; D-Code-/Padstackstand; offene Punkte; Sicherungsstand; Ausgabeumfang; Prüfer und Datum. Zu jedem Q-Punkt Soll, Ist, Ergebnis und Nachweis eintragen. Die Übergabe bleibt bei offenen kritischen Punkten gesperrt.

Quellen und Einordnung

Fachliche Grundlage: DIGI-WORKFLOW des Benutzers vom 19.10.2026. Übernommen sind Scannen, Definieren, geometrische Korrektur, Pads Placement, Routing/LP-Design und Gerber-Export einschließlich der Padreihenfolge. Prüfpunkte, Rücksprünge und Schulungsübung ergänzen diese Vorgabe.

Bestehendes Schulungsschema: WFL001 v001; Detailunterlagen WFL003 Rasterkalibration, WFL004 Pad-/D-Code-Analyse, WFL005 Copy/Move und WFL006 Export; ältere Sourcebezüge dieser Dokumente beachten. FMT001 v001 beschreibt den Gerber-Erweiterungsbedarf.

Aktueller Funktionsabgleich: src/gfa/RE-CAD_2026.1.482.g32, lesend: Menüaufbau, file_job_new(), Kalibrierungs-/Pad-/Line-Einträge und speichern()/gerb(). Keine Source-, Runtime- oder Jobänderung; keine neue native Abnahme. Dieses Modul ergänzt die Schulungs-/Workflow-Sammlung und ersetzt nicht die historischen Einzelanleitungen.