RE-CAD: Vorlagen, Scannen, D-Codes und Powerplanes

Dokument: WHP002 | Version: 001 | Datum: 2026-10-07

Status: Recherchierte Erstfassung; Beispiele und Arbeitsvorschläge sind keine Produktfreigabe.

Zweck und Produktstatus

Dieses Whitepaper beschreibt einen vorgeschlagenen Arbeitsablauf von der Vorlage zum rekonstruierbaren Leiterbild. Es ist keine Bedienfreigabe sämtlicher erwähnten Funktionen. RE-CAD 329 ist vom Anwender bestätigt; 330 enthält einen noch zu kompilierenden und zu testenden Delete-Job-Fix. DCO-Speicherlayout, vollständiger Exportumfang und automatisches Powerplane-Verhalten sind noch nicht abgesichert.

1. Scannen und Scannertechnologien

CCD- und CIS-Technologien werden in Dokumentenscannern eingesetzt. Contex beschreibt CCD-Geräte mit Kameraoptik und Modelle beider Technologien; die Eignung ist anhand eines konkreten Originals zu messen. [1] Ein Flachbett hält das Original stationär; ein Durchzug transportiert es. Für RE-CAD zählt neben Bildschärfe die geometrische Reproduzierbarkeit entlang beider Achsen. Ein Durchzug muss deshalb auch auf Transportfehler getestet werden. Diese Auswahlkriterien sind unser vorgeschlagenes Prüfverfahren.

Papierzeichnungen werden mit reflektiertem Licht erfasst; transparente Filme benötigen eine passende Durchlichteinrichtung. Epson nennt für den 13000XL eine optische Auflösung von 2400 × 4800 dpi und eine gesonderte Durchlichtoption. Das ist ein Gerätebeispiel, keine Zusage gleicher Maßhaltigkeit bei dieser Auflösung. [2] Interpolierte Auflösung bringt keine zusätzlich gemessenen Konturinformationen.

Vorgeschlagener Scannervergleich: dieselbe Maßvorlage in mehreren Positionen, mit zwei Ausrichtungen und Wiederholungen scannen; X-/Y-Maßabweichung, lokale Verformung, Kantenkontrast und Bedienaufwand protokollieren. Nicht allein nach nominellen dpi oder einer optisch schönen Vorschau entscheiden.

2. Artwork: Filme, Zeichnungen und Leiterplatten

Eine Vorlage braucht eine Identität: Auftrag, Revision, Lage, Seite, Maßstab, Polarität und erkennbare Passmarken. Bei Filmen zusätzlich Emulsionsseite und Abbildungsrichtung erfassen. Bei Papier können Alterung, Kopieren und Falten den Maßstab lokal verändern. Eine beschriftete Zeichnung enthält möglicherweise Maße und Hinweise, die nicht zum elektrischen Leiterbild gehören.

Vorgeschlagene Eingangsklassen: Fotofilm mit klaren Konturen; technische Papierzeichnung; gedruckte Kopie; Scan einer bereits gefertigten Leiterplatte. Letztere zeigt zusätzlich Finish, Masken, Bohrungen und Schäden. Aus verdeckten Innenlagen lässt sich keine vollständige Multilayer-Geometrie ableiten. Jede Lage erhält einen eigenen Herkunftsnachweis und unveränderten Originalscan.

Positive und negative Artwork-Darstellung darf nicht mit der elektrischen Funktion einer Powerplane verwechselt werden. Eine schwarze Fläche bedeutet erst nach Klärung der Vorlagenpolarität tatsächlich Kupfer oder eine Aussparung. Passmarken helfen bei Ausrichtung, sind aber nicht automatisch elektrische Pads.

3. Optimale Grafik: Auflösung und Entzerrung

Eine brauchbare Grafik hat scharfe, unverfälschte Kanten, vollständige Fläche, bekannte Abbildungsrichtung und überprüften Maßstab. Vorschlag: zuerst einen verlustfreien Graustufen-Master archivieren, dann Arbeitskopien erzeugen. JPEG-Kompression, künstliches Nachschärfen und automatische Fleckenentfernung können die messbare Kontur verändern; sie werden für Messvorlagen vermieden.

Eigene Rechenbeispiele: Pixelgröße = 25,4 / dpi in mm.

Auflösung	Pixelgröße	Pixel über 0,10 mm
600 dpi	0,0423 mm	2,36
1200 dpi	0,0212 mm	4,72
2400 dpi	0,0106 mm	9,45

Zwei Pixel über einer schmalen Leiterbahn sind für eine robuste Kantenmessung wenig. 1200 bis 2400 optische dpi sind deshalb eine zu erprobende Ausgangsbasis für 0,10-mm-Strukturen; sie garantieren keine entsprechende Messgenauigkeit. Auflösung, Fokus, Transport, Vorlage und Kalibrierung wirken gemeinsam.

Vorgeschlagene Entzerrung: Rotation und Translation bestimmen, X-/Y-Maßstab separat prüfen, bei Bedarf eine affine Korrektur für Scherung anwenden. Perspektivische Korrektur betrifft beispielsweise Kamerafotos; lokal gekrümmte oder gewellte Vorlagen brauchen weitere Maßnahmen. Eine Korrektur darf keine zufälligen Fehler passend rechnen. Unabhängige Kontrollpunkte werden nicht zum Fit verwendet und zeigen die verbleibende Abweichung.

Beispiel: Sollabstand 160,00 mm, gemessener Abstand 159,20 mm. Korrekturfaktor 160,00 / 159,20 = 1,00503. Dieser Faktor gilt nur für die geprüfte Richtung. Für zwei Achsen und lokale Verzerrung reicht eine einzelne Maßstrecke nicht. Nach Korrektur Abstand, Winkel und Lageüberdeckung an mehreren Stellen prüfen.

Große Vorlagen: PERF_01 100 × 160 mm, PERF_02 200 × 320 mm, PERF_03 300 × 480 mm. Ein 310 × 437-mm-Flachbett [2] deckt die letzte Größe nicht vollständig ab. Großformat oder überlappende Teilscans sind erforderlich; Stitching braucht gemeinsame Passpunkte und eine eigene Fehlerkontrolle.

4. D-Code-Management

In Gerber wählen Apertur-D-Codes die verwendete geometrische Form. Die Operationscodes D01, D02 und D03 stehen für Zeichnen, Positionieren und Flash; sie dürfen nicht als drei Padgrößen interpretiert werden. Formen und Abmessungen stehen in Aperturdefinitionen beziehungsweise historischen externen Tabellen. Alte Standard-Gerber-Daten verlangen daher besondere Aufmerksamkeit bei den fehlenden Aperturinformationen. [3]

Vorgeschlagener RE-CAD-Katalog je Job: interne D-Code-Nummer, Form, Breite/Höhe, Einheit, Verwendung (Pad oder Linie), Quellnachweis und Status. Drill-Werkzeugnummer und Bohrdurchmesser werden getrennt geführt. Ein D-Code legt keinen Bohrdurchmesser fest. Beispielsweise ist ein rundes 1,60-mm-Kupferpad mit 1,00-mm-Bohrung geometrisch ein radialer Restring von 0,30 mm; die Bohrzuordnung muss zusätzlich bekannt sein.

Beim Wiederaufbau ähnliche Pads zunächst als Kandidaten gruppieren, anschließend Referenzmaße und ursprüngliche Tabelle prüfen. Gleich aussehende Objekte können unterschiedliche Funktionen haben. Globale Änderungen erhalten eine Liste aller betroffenen Objekte und Vorher-/Nachher-Maße. Ziel ist eine nachvollziehbare Bibliothek, kein erratener Ersatz für fehlende Originaldaten. Der aktuelle binäre DCO-Aufbau muss vor einem automatischen Generator abschließend validiert werden.

5. Powerplanes erstellen

Eine Powerplane ist eine leitende Fläche für ein definiertes Potential; sie kann auf einer eigenen Innenlage oder als Kupferzone angelegt werden. Kontur, elektrische Zuordnung, Aussparungen, fremde Netze, Anschlussart, Thermals und kleine isolierte Inseln müssen gemeinsam betrachtet werden. KiCad beschreibt gefüllte Zonen, Netzzuordnung, Mindestbreite und Thermal- Anschlussparameter. Dies dient als fachliche Referenz, nicht als RE-CAD-Funktionsnachweis. [4]

Vorgeschlagener Ablauf: Lage und Potential bestimmen; Außenpolygon und Keepouts festlegen; notwendige Freistellungen um fremde Pads und Bohrungen definieren; passende Pads direkt oder über Thermals anbinden; Fläche erzeugen; nach jeder Geometrieänderung neu berechnen; Inseln, Engstellen und Verbindungen prüfen; schließlich die tatsächlich ausgegebenen Kupferflächen kontrollieren. Thermal-Speichen müssen sowohl Fertigung als auch Strombedarf erfüllen.

Bei geometrischer Rekonstruktion ohne gesicherte Netzliste kann keine automatische, elektrisch richtige Fremdnetzfreistellung vorausgesetzt werden. Negative Filmplanes benötigen insbesondere eine eindeutige Polaritätsauswertung. Ein gezeichnetes Umrisspolygon ist noch keine ausgefüllte Kupferfläche. Für Fertigungsdaten sind echte Flächenrepräsentationen statt unzähliger kurzer Fülllinien grundsätzlich eine sinnvolle Exportanforderung; Eurocircuits empfiehlt dafür Konturen oder Polygone. [5]

Offene RE-CAD-Prüfpunkte: vorhandene Flächenbefehle und Polaritäten anhand Source und Referenzjob nachweisen; interne Speicherung prüfen; Thermals, Aussparungen und Inselbehandlung demonstrieren; Export im unabhängigen Viewer und anhand einer Netz-/Verbindungsprüfung abnehmen. Diese Punkte beschreiben Entwicklungsarbeit; in Version 001 wird keine fertige Automatik behauptet.

6. Vorgeschlagenes Abnahmeprotokoll

Für jeden rekonstruierten Job dokumentieren: Originalquelle und Revision, Scanparameter, kalibrierte Maßstrecken, Restfehler, Lagenzuordnung und Polarität, D-Code-Tabelle, Bohrzuordnung, offene elektrische Fragen sowie Ausgabeprüfung. Die Bearbeitung ist erst nachvollziehbar, wenn ein anderer Bearbeiter die Geometrie anhand der erhaltenen Originale und dieser Angaben prüfen kann.

Quellen und Recherchestand

Primärquellen, abgerufen am 07.10.2026. Rechenbeispiele und Arbeitsabläufe sind eigene Vorschläge.

[1] Contex, CCD/Großformat: https://contex.com/product/hd-ultra-x-large-format-ccd-scanner/

[2] Epson, Expression 13000XL: https://www.epson.de/de_DE/produkte/scanner/dokumentenscanner/epson-expression-13000xl/p/40276

[3] Ucamco, Gerber und Spezifikationen: https://www.ucamco.com/en/gerber

[4] KiCad, PCB Editor 9.0, Working with zones: https://docs.kicad.org/9.0/en/pcbnew/pcbnew.html

[5] Eurocircuits, Copper Layers: https://www.eurocircuits.com/technical-guidelines/pcb-design-guidelines/copper-layers/