Leiterplattenlagen eindeutig an CAM übergeben

Dokument WHP003 | Version 001 | Datum 2026-10-07 | CIR REQ-005

Status: recherchierter Entwurf. Recherche am 07.10.2026. Keine Fertigungsfreigabe und keine Aussage über bereits implementierte RE-CAD-Exportfunktionen.

Zweck

Ein rekonstruierter Datensatz braucht neben seiner Geometrie eine eindeutige Bedeutung jeder Lage. Dieses Whitepaper vertieft WHP001 um die Zuordnung bei der Übergabe an CAM. Es behandelt Lagenidentität und Prüfungen; Fertigungstoleranzen werden mit dem Hersteller vereinbart.

Belegte Grundlagen

Gerber X2 ergänzt Bilddaten um Attribute, beispielsweise Dateifunktion, Dateipolarität und Padfunktion. Die Dateifunktion benennt den Platz im Leiterplattenaufbau. [1, 2]

Die Spezifikation 2026.05 nummeriert physische Kupferlagen von L1 auf Top bis Ln auf Bottom. Innenlagen heißen Inr; optionale Typen sind Signal, Plane, Mixed oder Hatched. Separate Funktionen benennen Lötstopp, Beschriftung, Paste und Bohrdaten. Die Kontur gehört in eine eigene maschinenlesbare Datei; ein geschlossen verbundener Pfad oder eine Kontur kann sie beschreiben. [1, Abschnitte 5.6 und 6.5]

KiCad 9 dokumentiert Bohrdaten als Excellon oder Gerber X2. PTH und NPTH werden standardmäßig getrennt ausgegeben. Bohrbild und Bohrdaten sind unterschiedliche Ausgaben. Ursprung, Einheit und Nullendarstellung sind ausdrücklich einzustellen; eine Y-Spiegelung wird für Fremdfertigung im Allgemeinen nicht empfohlen. [3]

XNC legt eine explizite Einheit INCH oder METRIC im Header fest; METRIC bezeichnet Millimeter. Werkzeugdefinitionen legen Durchmesser fest. Die Kenntnis einer Dateiendung ersetzt diese Formatangaben nicht. [4, Abschnitte 3.3 und 3.4]

Vorgeschlagene Zuordnung für RE-CAD

Die folgende Tabelle ist ein eigenes fachliches Modell. Sie ist keine Migration bestehender Dateien. Ein internes L2 muss nicht die zweite physische Kupferlage sein: Es könnte im bisherigen Job auch eine Maske enthalten. Erst die bestätigte Definition entscheidet.

Fachlicher Datensatz	Bedeutung für die Übergabe	Zu dokumentieren
LB Top / Bottom	Kupferbild einer Außenlage	Name, physische Kupfernummer, Seite
LB innen Signal	Leiterbild einer Innenlage	Kupfernummer und Lagenfolge
LB innen Power / Ground	Versorgung oder Bezugspotential	Kupfernummer; Netzzuordnung soweit bekannt
LS Top / Bottom	Lötstoppöffnungen	Seite, Bildinterpretation und Polarität
Beschriftung	Text und Symbole	Seite; Abgrenzung zu Fertigungshinweisen
Paste	Schablonenöffnungen	Seite und Freigabe für Bestückung
DR PTH / NPTH	Metallisiert / nicht metallisiert	Werkzeugdurchmesser; Lagenspanne; Schlitze

Fachlicher Datensatz	Bedeutung für die Übergabe	Zu dokumentieren
Profil	Außenkontur und Ausschnitte	Geschlossenheit; Maße; Toleranzen

LB und LS entsprechen der vom Anwender erklärten Terminologie. Die Unterscheidung PTH/NPTH ist ein Vorschlag für die künftige Jobdefinition, keine aus vorhandenen Drillkreuzen ableitbare Tatsache. Eine unbekannte Lagenfunktion bleibt unbekannt und erhält eine Rückfrage.

Beispiel einer Zuordnung

Annahme: vierlagige Platte, Top Signal, innen Ground und Power, Bottom Signal. Die Tabelle verwendet .FileFunction-Werte gemäß [1]. Sie stellt ein Beispiel dar, keinen vollständigen Gerberheader und keine Freigabe einer elektrischen Struktur.

Fachlicher Name	Dateifunktion als Beispiel
Top Kupfer	Copper,L1,Top,Signal
Ground innen	Copper,L2,Inr,Plane
Power innen	Copper,L3,Inr,Plane
Bottom Kupfer	Copper,L4,Bot,Signal
Lötstopp Top	Soldermask,Top
Lötstopp Bottom	Soldermask,Bot
Beschriftung Top	Legend,Top

Alle Dateien des Beispiels verwenden denselben bestätigten Ursprung und Maßstab. Eine eigene Powerlage beweist noch keine korrekte Netzzuordnung. Ein Name wie L2.gbr ist für sich allein keine ausreichende Beschreibung der Funktion.

Vorgeschlagener Arbeitsablauf zur CAM-Prüfung

1. Vorlagen inventarisieren: Bezeichnung, Seite, vermutete Funktion, Maßstab und Revision erfassen. Unbekannte Spiegelung oder Polarität als offene Angabe festhalten.
2. Lagenliste bestätigen: interne Lage, fachlicher Name, Typ, Seite und physische Kupfernummer getrennt führen. Zuständigkeit für die Bestätigung vor der Datenübergabe festlegen.
3. Geometrie prüfen: bekannte Abstände, Außenmaße und mindestens zwei weit getrennte Bohr-/Padpositionen vergleichen. Gleiche Transformation für zusammengehörige Datensätze verwenden.
4. Ausgabe unabhängig lesen: Kupfer, Maske, Kontur und Bohrdaten einzeln sowie gemeinsam anzeigen. Maßstab, Ursprung, Zuordnung und vollständige Geometrie kontrollieren.
5. Übergabe dokumentieren: Job/Revision, Dateien, Format, Einheiten, Lagenliste, Fertigungshinweise und offene Angaben zusammenstellen. Empfängerkompatibilität klären und fachliche Freigabe erfassen.

Diese Prüffolge ist ein Projektvorschlag. Sie wurde hier nicht an einer gefertigten Leiterplatte oder in einem nativen RE-CAD-Export durchlaufen.

Drilldurchmesser und Masken: offene Informationen erhalten

Projektbefund laut AGENTS.md: Beim Rasterexport können undefinierte Drilldurchmesser auf Anwenderwunsch durch 0,9 mm ersetzt werden; die Jobdaten bleiben unverändert. Vorschlag: Diesen Darstellungsersatz niemals als bestätigten Fertigungsdurchmesser übernehmen. Für die Fertigung braucht jede unbekannte Bohrung eine Entscheidung einschließlich Metallisierung und gegebenenfalls Enddurchmesser/Toleranz.

Für LS sollte der fachliche Vertrag ausdrücklich festhalten, welche Bereiche geöffnet werden sollen. Die farbige Bildschirmdarstellung allein erklärt keine Dateipolarität. Maskenerweiterung und minimale Stegbreite gehören zu den vereinbarten Herstellerregeln; hier werden keine pauschalen Werte festgesetzt.

Folgerungen für die spätere Formatentwicklung

Vorschlag zu REQ-014 / ARC001: pro Lage eine stabile interne ID, einen Anwendernamen, Typ, Seite, optionale Kupfernummer sowie Herkunft und Bestätigungsstatus aufnehmen. Den technischen Exportnamen davon trennen. Eine Übergabeliste kann zunächst als gesondertes Dokument dienen, ohne Legacy-PCB/DAT/DCO/FNT zu verändern.

Unbekannte elektrische Netze, Fertigungsparameter oder Dateifunktionen dürfen beim Rekonstruieren nicht aus Farben erfunden werden. Ein späterer X2-Export muss seine Attribute gegen die dann festgelegte Spezifikationsversion prüfen. Dieses Whitepaper implementiert keinen Export und führt keine automatische Migration aus.

Noch zu klären

- Welche vorhandenen Jobs enthalten LS, Profil oder Beschriftung als gewöhnliche numerierte Lage?
- Welche Empfänger und CAM-Systeme akzeptieren welche Gerber-/Bohrvarianten?
- Wer bestätigt Lagenfolge, PTH/NPTH und Enddurchmesser beim Digitalisierungsauftrag?
- Welche Vorlagen enthalten ausreichend belegte Netz- und Materialinformationen?

Primärquellen

[1] Ucamco, Gerber Layer Format Specification, Revision 2026.05; insbesondere .FileFunction und Profile. https://www.ucamco.com/files/downloads/file_en/554/gerber-layer-format-specification-revision-2026-05_en.pdf

[2] Ucamco, Gerber X2: Attribute und Designabsicht. https://www.ucamco.com/en/gerber/demo-1

[3] KiCad, PCB Editor 9.0, Abschnitt Drill files. Die Seite bezeichnet den Dokumentationsstand als 9.0.9; hier als konkretes Referenzbeispiel, nicht als Behauptung der neuesten KiCad-Version verwendet. https://docs.kicad.org/9.0/en/pcbnew/pcbnew.html#drill_files

[4] Ucamco, XNC Format Specification, Revision 2021.11. https://www.ucamco.com/files/downloads/file_en/452/xnc-format-specification-revision-2021-11_en.pdf

Projektquellen: AGENTS.md vom 07.10.2026, WHP001 v001 und Benutzerdefinition LB/LS. Quellenbelegte Grundlagen, Beispielannahmen und eigene Vorschläge sind im Text getrennt. Native Anwendungstests und fachliche Abnahme bleiben offen.