

Automatisierte Bestandsplandigitalisierung in der Eisenbahninfrastrukturplanung

Verteidigung der Masterarbeit

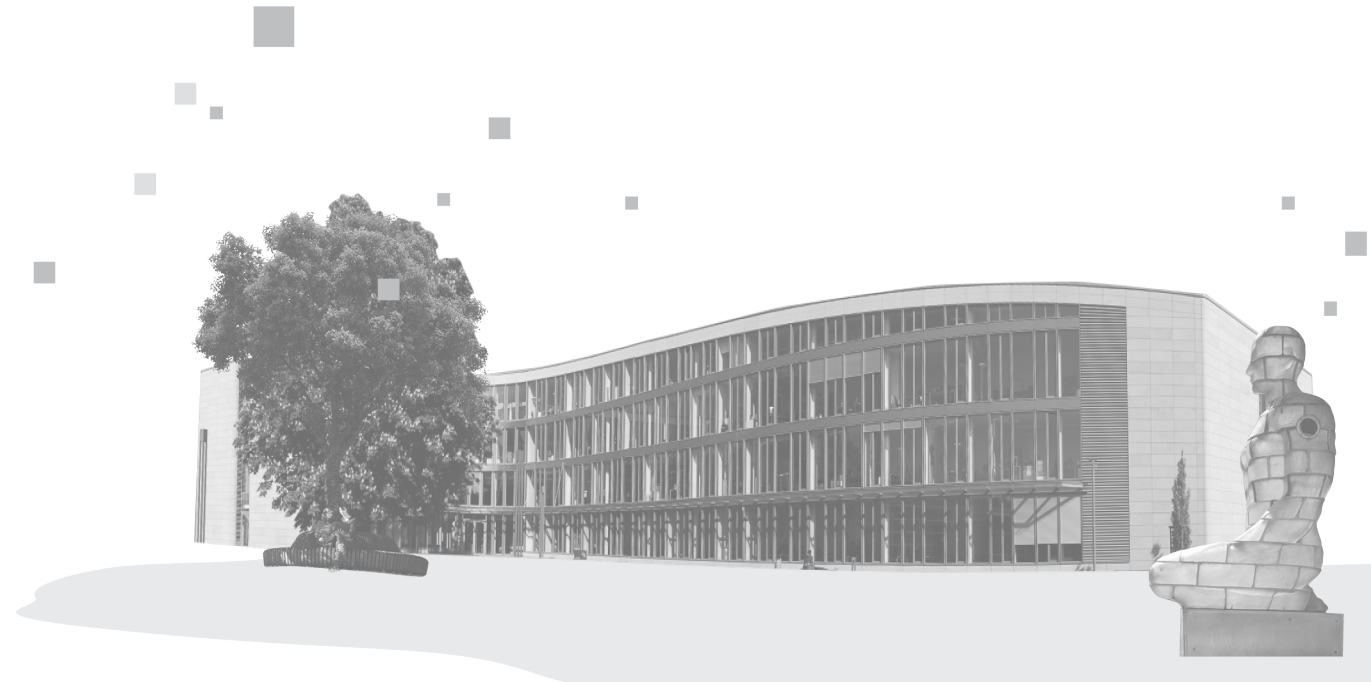
Laura Rost

Betreuung: Prof. Dr. Andreas Polze, Arne
Boockmeyer, Lukas Pirl

Professur für Betriebssysteme und
Middleware, Hasso-Plattner-Institut

**Design IT.
Create Knowledge.**

www.hpi.de

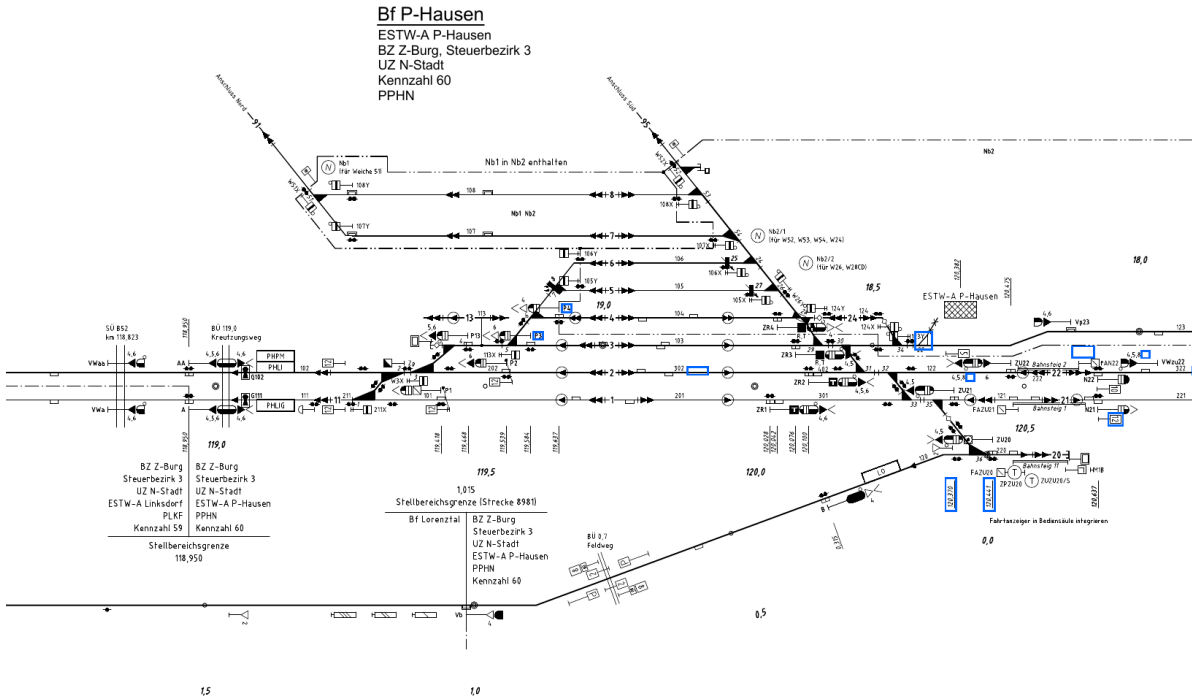


Generalsanierung bei der Deutschen Bahn



Deutsche Bahn AG / Oliver Lang

- bisher: Planung mittels Tools für *Computer-Aided Design* (CAD) und PDF-Export
- keine maschinelle Weiterverarbeitung möglich, deshalb häufiges Abzeichnen und Abtippen zwischen verschiedenen Schritten
 - zeitintensiv und fehleranfällig
- domänenspezifisch strukturiertes, redundanzfreies Dateiformat notwendig
 - bei der Deutschen Bahn: *PlanPro* auf XML-Basis



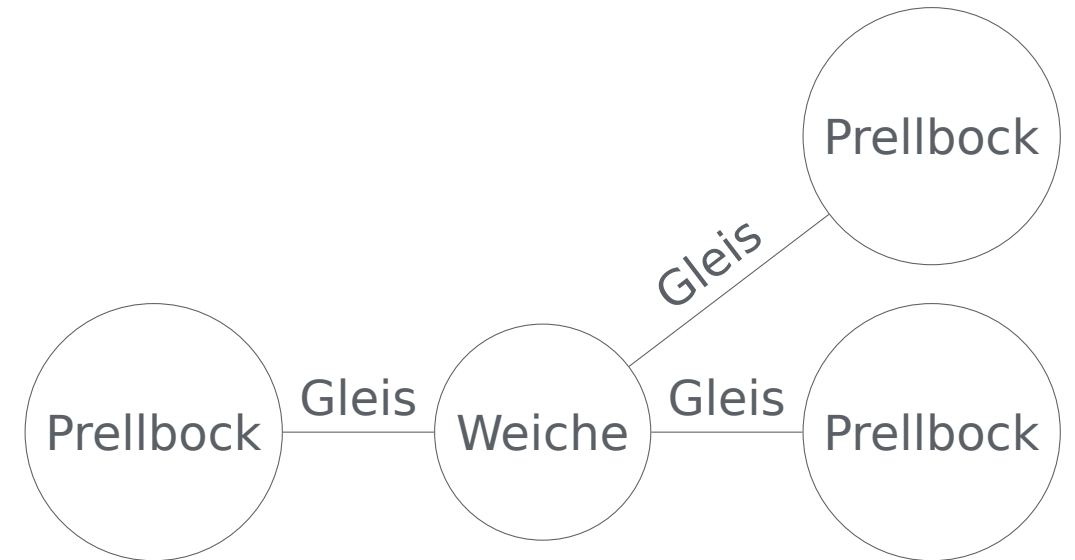
Oelschläger (2019): P-Hausen

Bezeichnung Haupt- u. Vorsignale	60Va	60VWa	60A	60Vaa	60VWaa	60AA	60ZR1	60ZR2	60ZR3	60ZR4
Bezeichnung Rangiersignale / Schutzsignale										
Bezeichnung Signale										
1 Standort [km] / Strecke	117,980 / 8980	118,800 / 8980	118,950 / 8980	117,980 / 8980	118,800 / 8980	118,950 / 8980	120,028 / 8980	120,100 / 8980	120,076 / 8980	120,042 / 8980
2 sonstige zulässige Anordnung 1)										
3 obere Lichtpunkthöhe [mm]	5000	5100	5400	5000	5100	5400	5400	6000	5400	6000
4 Rz S8000.5.6 Bild Nr.	19	11	1	19 L	19 L	9 L	1	8	7	8
5 Rz S6250/2440 Blatt 15 Bild Nr.										
6 Ls nach Rz S8000.7.1 Bild Nr. / Zs nach Rz S8000.8.2 Bild Nr.										
7 Signalsicht (Soll-Mindestsichtbarkeit) [m]	250/-	-/75	400/225	250/-	-/75	400/225	400/225	400/225	300/113	300/80
8 Richtpunktenfernung [m]	300	210	150	300	210	150	500	500	500	350
9 Streuscheibe / Betriebsstellung	VRL / VL	VRL / VL	HG / HG4	VRL / VL	VRL / VL	HG / HG4	HG / HG4	HG / HG2	HG / HG2	HG / HG2
10 Fundament Art / Höhe [mm]	2)	R1	R1	R1	R1	R1	BM1	BM1	BM1	BM1
11 Sonderkonstruktion										
12 Sonderanordnung	4)									
13 Rz Anordnung an Signalausleger, Brücke, Tunnel										
14 Richtungsanzeiger									R,T	R,T
15 Richtungsvoranzeiger										
16 Geschwindigkeitsanzeiger	6)		4,6			4,6	4,6	4,5,6	4,5	4F
17 Geschwindigkeitsvoranzeiger	6)	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,5,6	4,5	4F
18 Signalbegriff Hp			0			0	0	0	0	0
19 Signalbegriff Ks	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
20 Signalbegriff Ra / Sh							Ra12	Ra12	Ra12	Ra12
21										
22 Kenn- / Zusatzlicht		Z1			Z1		Z1	Z1	Z1	K,Z1
23 Signalbegriffe Zs (im Schirm)			7			7	7	7	7	7
24 Zs am Signalmast							13	13		
25 Zs am Betonpfosten/Rohrmast (separat)										
26 Zs am Signalmast										
27 Zs am Betonpfosten/Rohrmast (separat)										
28 Kombination Zp-Zs / Zs-Zs										
29										
30 Mastschild			H/V			H/V	H/V	H/V	H/V	H/V
31 Vorsignaltafel Rz S525.4.5 Bild Nr.	5			5						
32 Vorsignaltafeln Anzahl / Rz S526.2.6 Bild Nr.	3 / 1 8)			2 / 1 9)						
33			50			50				
34 BU-Anlage (HP abhängig) im Abstand [m]	Soll Ist		62			62				
35 Abstände zu Gleismitte von Mastmitte [mm]	2)									
36	links	3800	3770	3920		3920	2250	2500	2250	
37	rechts				3950	4650	3950	2250	2500	2250
38 Abstände in Längsrichtung [m]	Signal	60A	60A	A)	60AA	60AA	C)	60N21	60N21/60N22	E)
39	Länge	970	150	B)	970	150	D)	609	537/537	F)
39 Schaltkasten außerhalb der Gleise	3)									
40										
41										

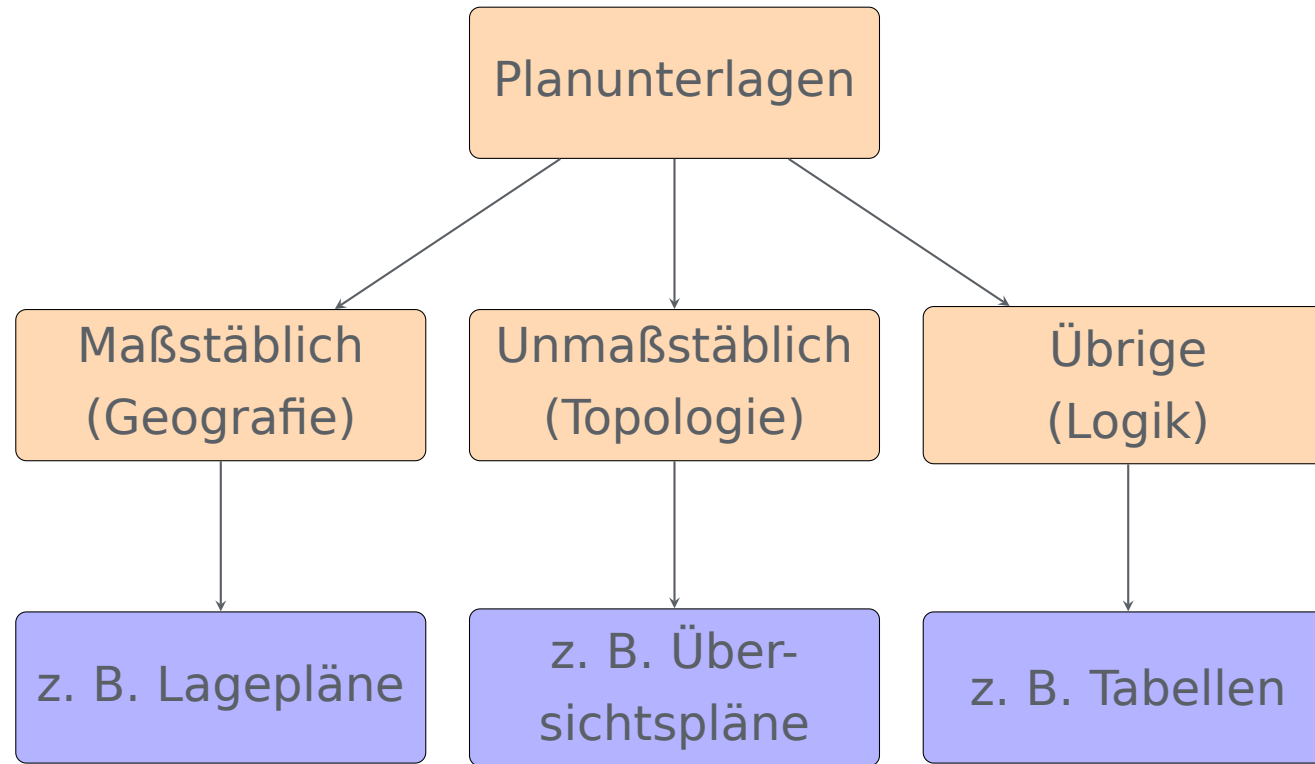
Oelschläger (2019): P-Hausen

- Problem: Bestandspläne bisher meist auf Papier oder als Scan
 - nicht für digitale Planung nutzbar
- momentan Digitalisierung durch „optomanuelle Schnittstelle“ (Maschek 2022)
 - ähnlicher Aufwand wie Neuplanung
 - bindet wertvolle Arbeitskraft spezialisierter Fachplanerinnen
- **Wie gut lässt sich dieser Prozess automatisieren?**

- graphenbasiertes Knoten-Kanten-Modell zur Darstellung der Topologie
- Knoten und Zwischenpunkte von Kanten können geografisch verortet werden
- Beschreibung der Leit- und Sicherungstechnik: Standort, Konstruktion, Logik



Baumann (2024): Speicherung von Eisenbahninfrastrukturplanung

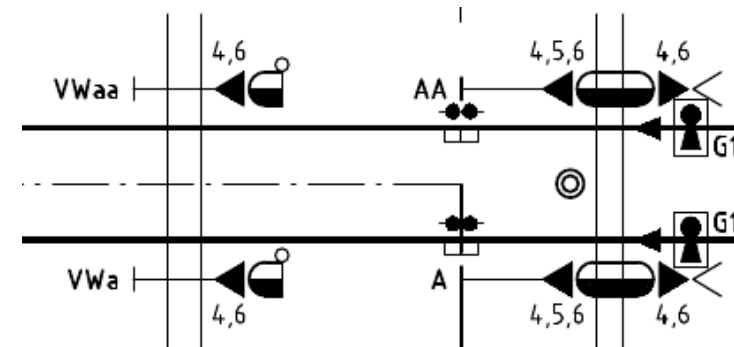


Struktur von Bestandsplänen

- Darstellung und Inhalte (teilweise) normiert
 - Schriftfeld mit Metainformationen (ISO 7200)
 - Symbolik für Lage- und Übersichtspläne (Signale, Weichen, Achszähler, ...)
 - Bezeichnungssystem für Feldelemente
 - Tabellenarten (Signaltabelle, Fahrstraßentabelle, ...)
 - Inhalt und Aufbau der Tabellen

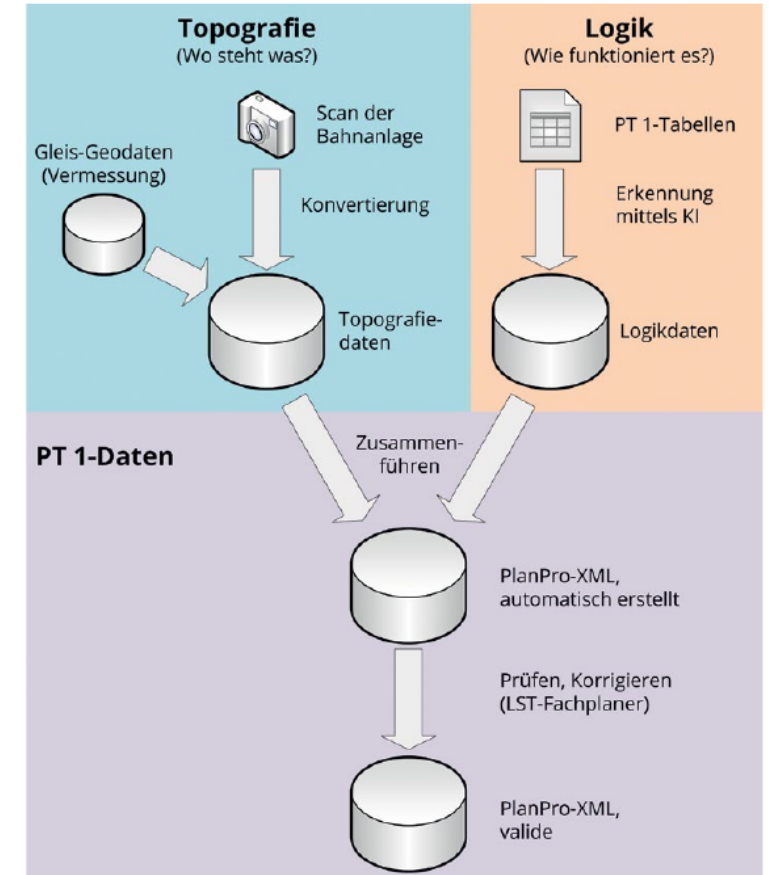
01		Ibn-Zustand		GP/OI		Beruhend auf:		Ersatz für:		Ersatz durch:	
1: 5000 i.d.L.		Änderung		Bear-/Dat.		Gepr./Dat.		Neuab-/Dat.		Bem./Dat.	
27.11.2015		Oelschläger		ESTW-UZ N-Stadt		ESTW-A P-Hausen		Schematischer Übersichtsplan		km 117,944 - km 122,744	
Datum		Name		01.02		2+					

Oelschläger (2019): P-Hausen



Oelschläger (2019): P-Hausen

- Digitalisierung von Bestandsplänen bereits früh als Problem erkannt
 - Buder (2017): manueller Prozess mit geringen automatisierten Anteilen
 - Maschek (2022): weitgehend automatisierter Prozess mit anschließender Überprüfung durch Fachplanerinnen



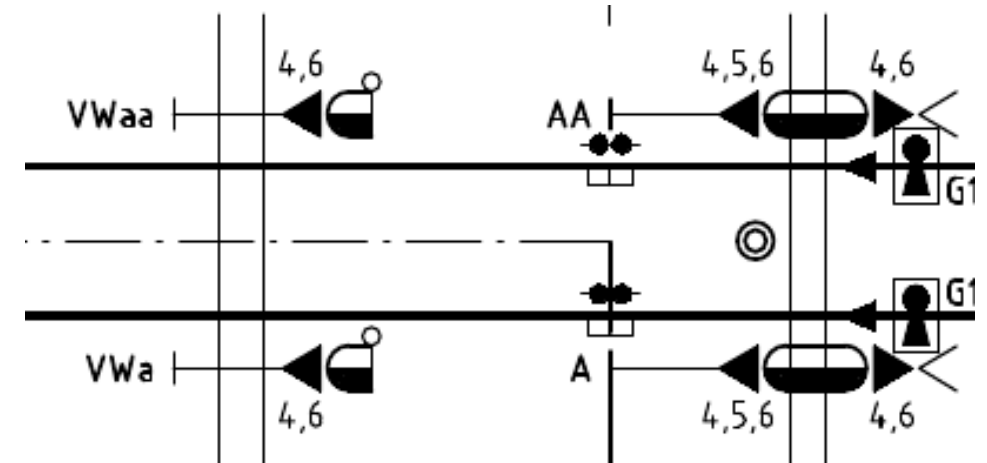
Maschek (2022): Bestandsplandigitalisierung für Digitale LST-Planung

- Canton (2023): Identifikation von Tabellen in Bilddateien (*img2table*)
 - Hough-Transformation zur Erkennung der Begrenzungslinien
 - *Optical Character Recognition* (OCR) zur Extraktion des Tabelleninhalts
- Bader (2023) und Stolp (2025): Nutzung der Signaltabelle 1 zur Erstellung eines PlanPro-Modells für Signale
 - Tabellen bereits digital im Excel-Format

Beschreibung (Haupt- + Vorgabe)	SDV4	SDV74a	SDA	SDV4a	SDV74a	SD8A	SD2R1	SD2R2	SD2R3	SD2R4
Beschreibung Signalwege / Schutzgrade										
1 Standard (Z) / Breite	117.800 / 8.880	118.800 / 8.880	118.850 / 8.880	117.800 / 8.880	118.800 / 8.880	118.850 / 8.880	120.070 / 8.880	120.100 / 8.880	120.070 / 8.880	120.040 / 8.880
2 Anzahl zulässiger Auswertung	1)									
3 Länge (L) / Breite (B)	5000	5100	5400	5000	5100	5400	5400	5000	5400	5000
4 Länge (L) / Breite (B)	117.800 / 8.880	118.800 / 8.880	118.850 / 8.880	117.800 / 8.880	118.800 / 8.880	118.850 / 8.880	120.070 / 8.880	120.100 / 8.880	120.070 / 8.880	120.040 / 8.880
5 Länge (L) / Breite (B)	5000	5100	5400	5000	5100	5400	5400	5000	5400	5000
6 Länge (L) / Breite (B)	117.800 / 8.880	118.800 / 8.880	118.850 / 8.880	117.800 / 8.880	118.800 / 8.880	118.850 / 8.880	120.070 / 8.880	120.100 / 8.880	120.070 / 8.880	120.040 / 8.880
7 Länge (L) / Breite (B)	5000	5100	5400	5000	5100	5400	5400	5000	5400	5000
8 Länge (L) / Breite (B)	117.800 / 8.880	118.800 / 8.880	118.850 / 8.880	117.800 / 8.880	118.800 / 8.880	118.850 / 8.880	120.070 / 8.880	120.100 / 8.880	120.070 / 8.880	120.040 / 8.880
9 Länge (L) / Breite (B)	5000	5100	5400	5000	5100	5400	5400	5000	5400	5000
10 Länge (L) / Breite (B)	117.800 / 8.880	118.800 / 8.880	118.850 / 8.880	117.800 / 8.880	118.800 / 8.880	118.850 / 8.880	120.070 / 8.880	120.100 / 8.880	120.070 / 8.880	120.040 / 8.880
11 Länge (L) / Breite (B)	5000	5100	5400	5000	5100	5400	5400	5000	5400	5000
12 Länge (L) / Breite (B)	117.800 / 8.880	118.800 / 8.880	118.850 / 8.880	117.800 / 8.880	118.800 / 8.880	118.850 / 8.880	120.070 / 8.880	120.100 / 8.880	120.070 / 8.880	120.040 / 8.880
13 Länge (L) / Breite (B)	5000	5100	5400	5000	5100	5400	5400	5000	5400	5000
14 Länge (L) / Breite (B)	117.800 / 8.880	118.800 / 8.880	118.850 / 8.880	117.800 / 8.880	118.800 / 8.880	118.850 / 8.880	120.070 / 8.880	120.100 / 8.880	120.070 / 8.880	120.040 / 8.880
15 Länge (L) / Breite (B)	5000	5100	5400	5000	5100	5400	5400	5000	5400	5000
16 Länge (L) / Breite (B)	117.800 / 8.880	118.800 / 8.880	118.850 / 8.880	117.800 / 8.880	118.800 / 8.880	118.850 / 8.880	120.070 / 8.880	120.100 / 8.880	120.070 / 8.880	120.040 / 8.880
17 Länge (L) / Breite (B)	5000	5100	5400	5000	5100	5400	5400	5000	5400	5000
18 Länge (L) / Breite (B)	117.800 / 8.880	118.800 / 8.880	118.850 / 8.880	117.800 / 8.880	118.800 / 8.880	118.850 / 8.880	120.070 / 8.880	120.100 / 8.880	120.070 / 8.880	120.040 / 8.880
19 Länge (L) / Breite (B)	5000	5100	5400	5000	5100	5400	5400	5000	5400	5000
20 Länge (L) / Breite (B)	117.800 / 8.880	118.800 / 8.880	118.850 / 8.880	117.800 / 8.880	118.800 / 8.880	118.850 / 8.880	120.070 / 8.880	120.100 / 8.880	120.070 / 8.880	120.040 / 8.880
21 Länge (L) / Breite (B)	5000	5100	5400	5000	5100	5400	5400	5000	5400	5000
22 Länge (L) / Breite (B)	117.800 / 8.880	118.800 / 8.880	118.850 / 8.880	117.800 / 8.880	118.800 / 8.880	118.850 / 8.880	120.070 / 8.880	120.100 / 8.880	120.070 / 8.880	120.040 / 8.880
23 Länge (L) / Breite (B)	5000	5100	5400	5000	5100	5400	5400	5000	5400	5000
24 Länge (L) / Breite (B)	117.800 / 8.880	118.800 / 8.880	118.850 / 8.880	117.800 / 8.880	118.800 / 8.880	118.850 / 8.880	120.070 / 8.880	120.100 / 8.880	120.070 / 8.880	120.040 / 8.880
25 Länge (L) / Breite (B)	5000	5100	5400	5000	5100	5400	5400	5000	5400	5000

Oelschläger (2019): P-Hausen

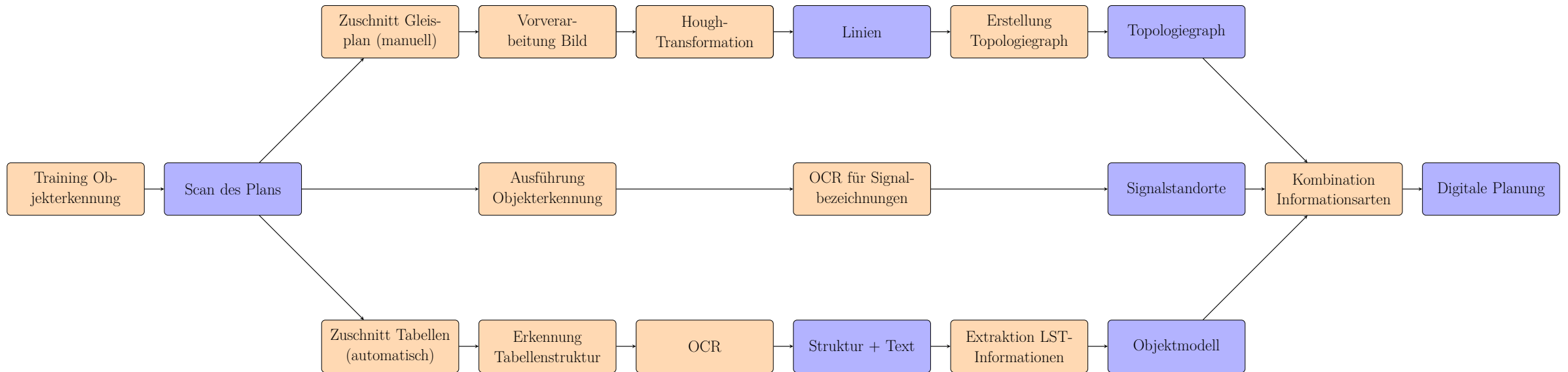
- Rahul et al. (2019), Elyan et al. (2020), Bickel et al. (2021), Helle (2023): Arbeiten zur Symbolerkennung mit *Convolutional Neural Networks* (CNN)
 - meist mehr als 80 % Genauigkeit
- Stoitchkov et al. (2019): Symbolerkennung speziell für Gleispläne
 - Unterteilung in *Regions of Interest*
- Rahul et al. (2019): Linienerkennung mittels probabilistischer Hough-Transformation (65 % Genauigkeit) und Verknüpfung mit Symbolen



Oelschläger (2019): P-Hausen

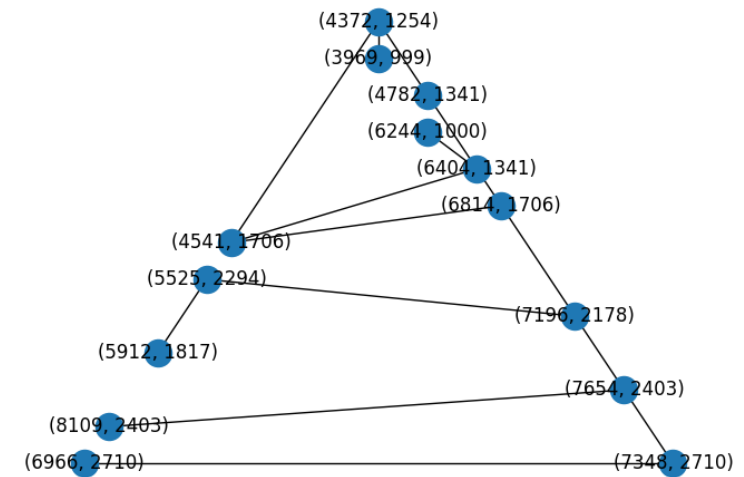
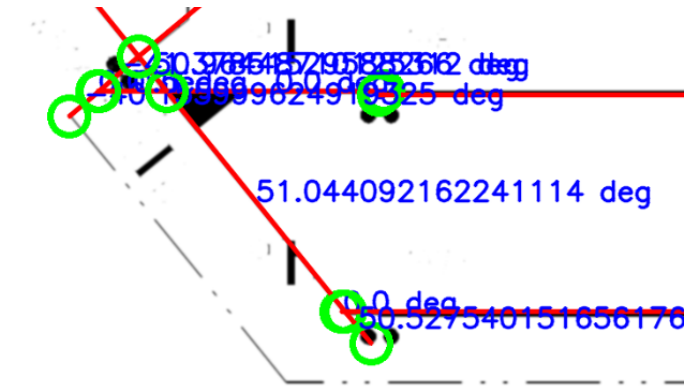
- Digitalisierung von LST-Planungen (Planteil 1) mittels Methoden der Bilderkennung
 - Umwandlung in *PlanPro* bzw. *Yaramo* (Boockmeyer et al., 2024) als Zwischenstufe
- **Fokus:** Digitalisierung von logischen (Tabellen) und topologischen (Übersichtsplan) Informationen
 - wo möglich: Tabellen als Informationsquelle

Vorgeschlagenes Verfahren

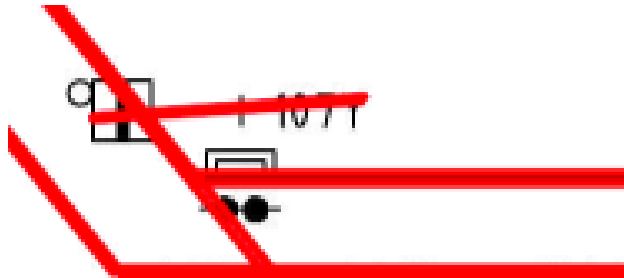
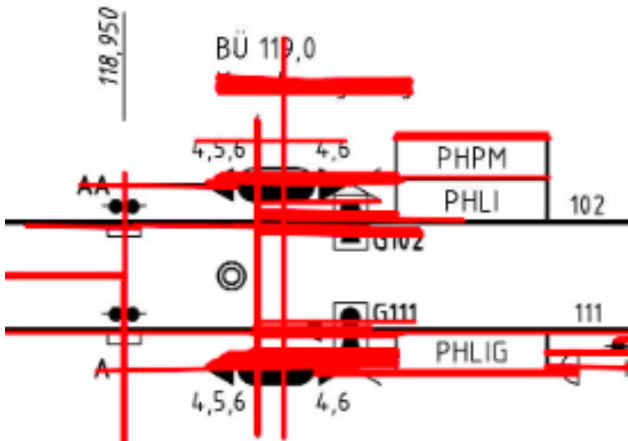


Erstellung eines Topologiegraphen

- Linienerkennung mithilfe der Hough-Transformation
- Überführung der erkannten Linien in ein Knoten-Kanten-Modell
 - müssen dafür kreuzungsfrei sein, deshalb iterative Unterteilung in kreuzungsfreie Abschnitte
- Linienendpunkte an einem Knoten (= Weiche) können leicht voneinander abweichen
 - müssen sich innerhalb eines festgelegten Radius voneinander befinden

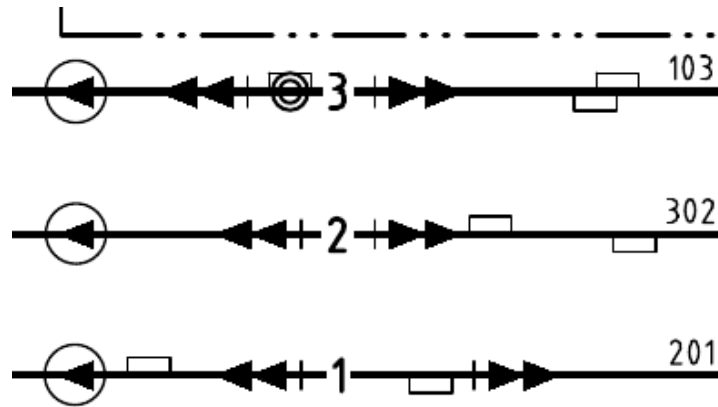


- Hough-Transformation erkennt viele überflüssige Linien, deshalb:
 - Einschränkung der erlaubten Winkel zur x-Achse (in Übersichtsplänen nur 0° und 45°)
 - Entfernung parallel zueinander verlaufender Linien an z. B. Signalsymbolen
 - Entfernung kurzer, „im Nichts endender“ Linien
 - Entfernung von Linien ohne Verbindung zum Gleisplan (z. B. Schriftfeld)

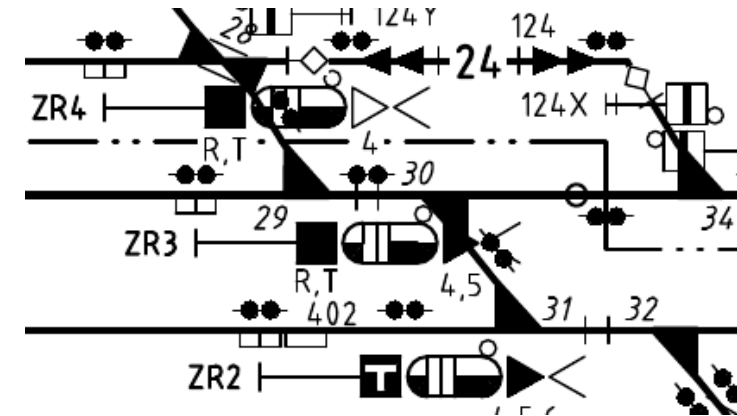


		Beruhend auf:		Ersatz für: 0.0 deg		Ersatz durch:	
		DB NETZE		01.01 01.02			
		27.11.15 30.10.19					
				PPHN_10/02			
				ESTW-UZ N-Stadt			
				ESTW-A P-Hausen			
				km 117.944 - km 122.744			
				Schematischer Übersichtsplan			

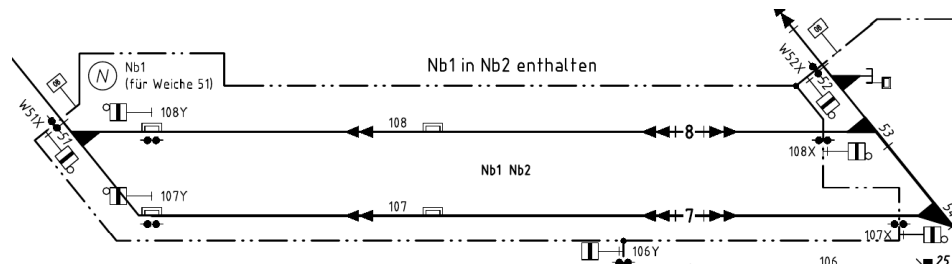
01	Ibn-Zustand	GP/Dat					



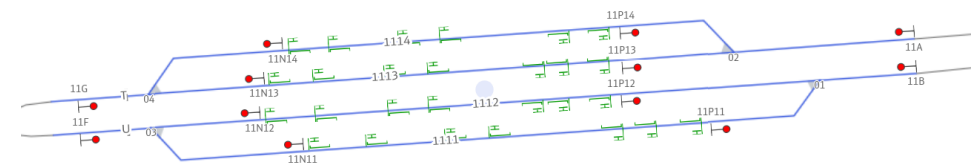
Unterbrechungen im Gleis



Überlappungen von Gleisen und Symbolen

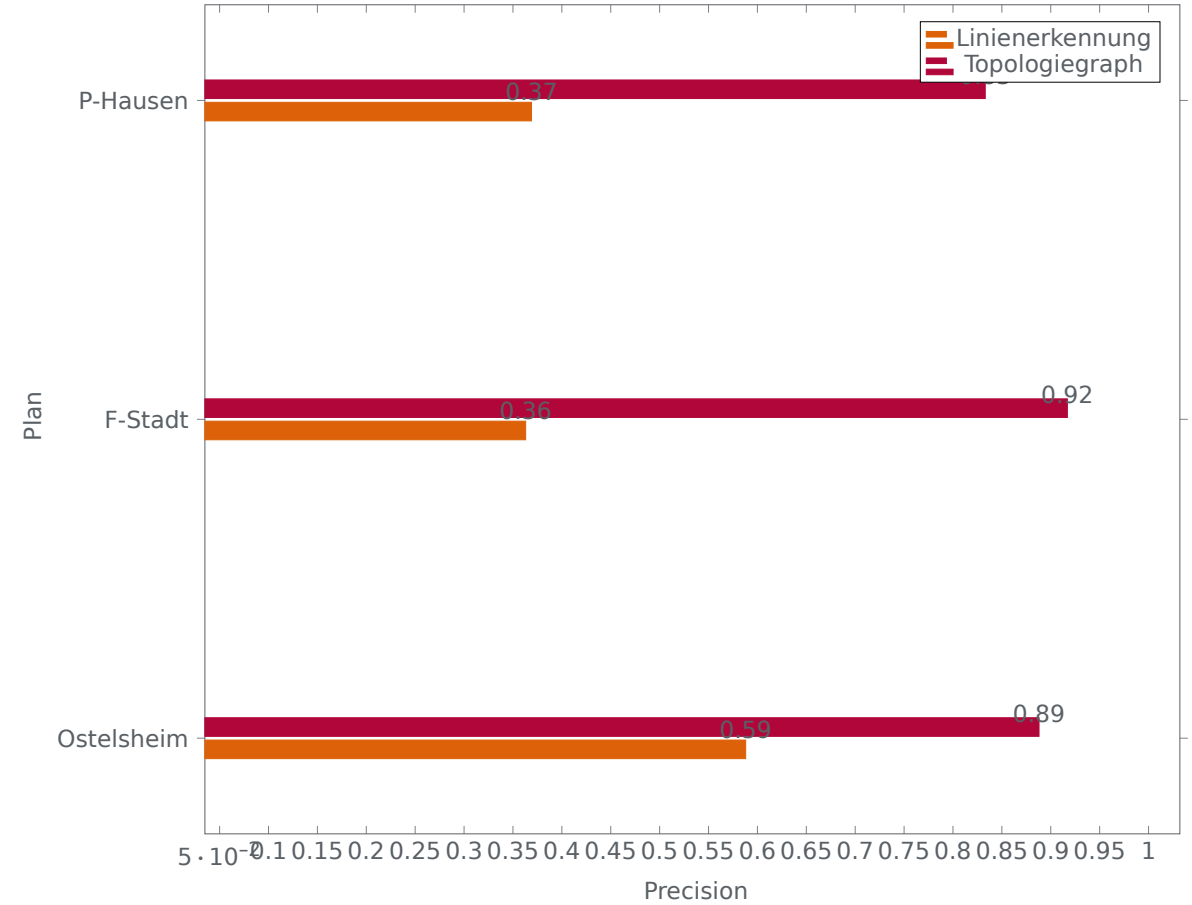
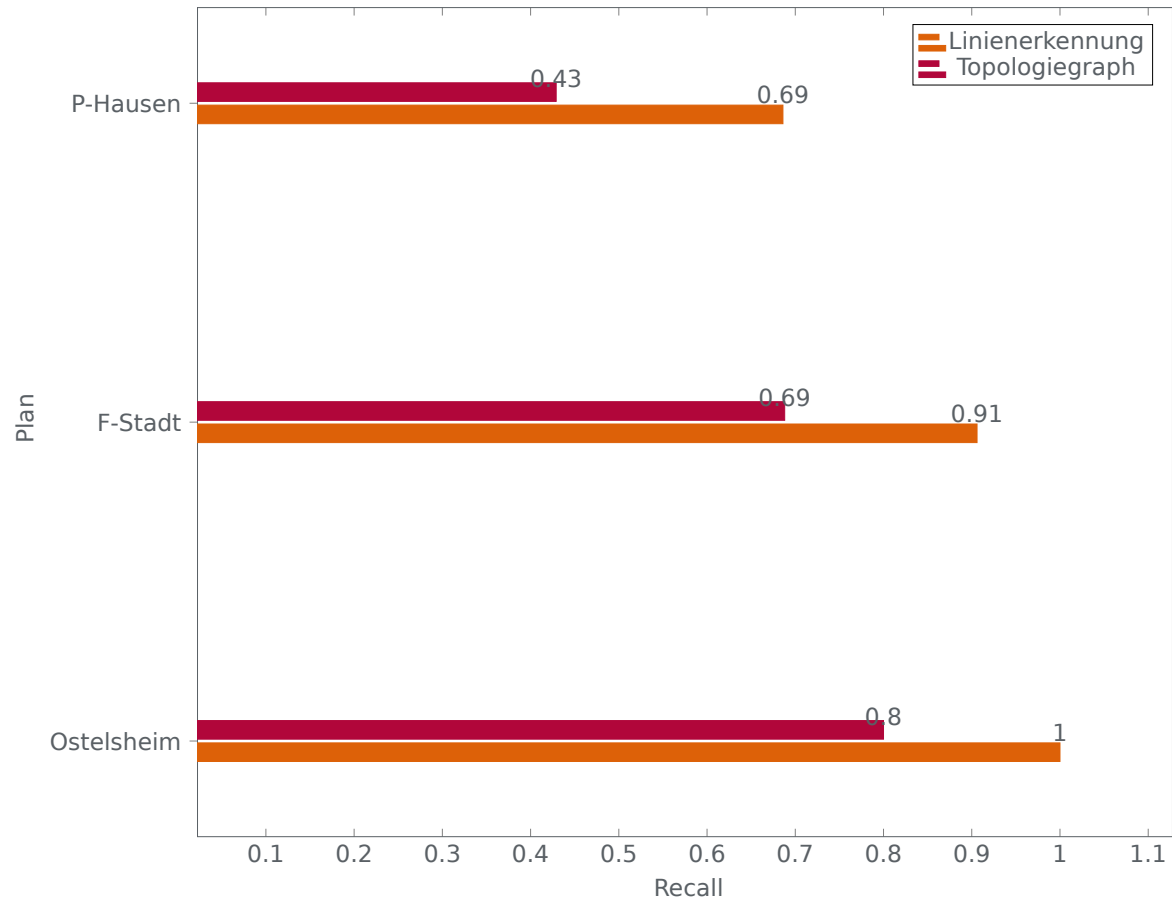


Strichpunktlinien im Plan

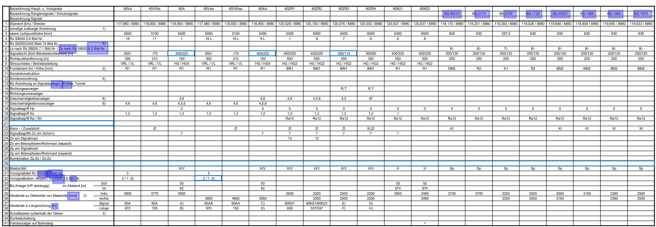


Sonderfälle für Heuristiken

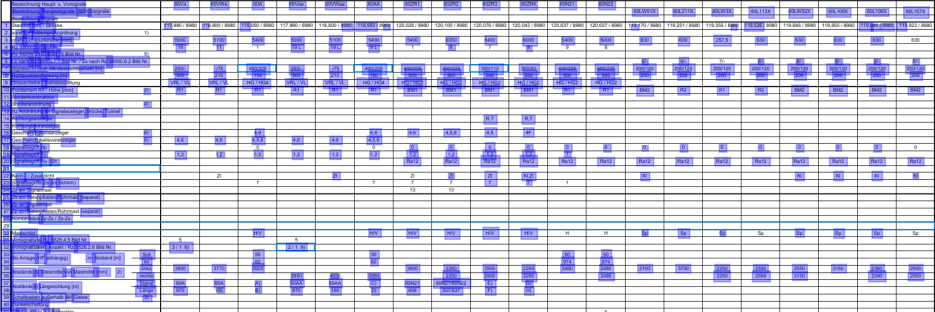
Oelschläger (2019): P-Hausen (Abb. 1-3), DB InfraGO AG: trassenfinder.de (Abb. 4)



- **Tabellenstruktur:** Nutzung des Verfahrens nach Canton (2023)
 - Linienenerkennung mittels Hough-Transformation und Zusammenfassung zu einzelnen Zellen
 - Gruppierung zu Tabelle mittels Clustering-Algorithmus
- **Tabelleninhalt:** Optical Character Recognition (OCR) durch Machine Learning
 - Detektion: Wo befindet sich Text?
 - Transkription: Welcher Text befindet sich dort?
- **Erkenntnis:** Detektion lässt sich durch Zuschnitt auf eigentliche Tabelle verbessern!



The image shows a screenshot of a complex inventory table. The table has many columns and rows, with some cells containing text and others containing numbers. There is a sidebar on the left with various filters and a legend at the bottom. The table is titled '2 JAN' and '10:00'.



The image shows a screenshot of a complex inventory table, similar to the one on the left, but with a different layout and content. The table has many columns and rows, with some cells containing text and others containing numbers. There is a sidebar on the left with various filters and a legend at the bottom. The table is titled '2 JAN' and '10:00'.

Schwierigkeiten

	<u>1</u>	4			ZI
	<u>1</u>	4			ZI
	<u>1</u>	4			ZI

Unterstrichene Einträge

Geschwindigkeitsanzeiger				
Ks/Sh/Hp/Hl/Ra				
Geschwindigkeitsvoranzeiger				
Zs				
Kenn-/Zusatzlicht				

Gedrehter Text

1	60W1	L
2		R
3	60W2	L
4		R
5	60W3	L
6		R

Vereinigung von Zellen

+	-	-	L	-	-	-	SpV	-	-
			R	-	Zb/Hb	x	KMV	1 Zprk	1
+	-	-	L	-	-	-	SpV	-	-
			R	-	Zb/Hb	x	KMV	1 Zprk	1
-	+	-	L	-	Zb	-	SpV	1 Zprk	1
			R	-	-	-	KMV	-	-
-	+	-	L	-	-	-	SpV	-	-
			R	-	Zb	-	KMV	1 Zprk	1

Abkürzungen statt ganze Wörter

Oelschläger (2019): P-Hausen (Abb. 1-4)

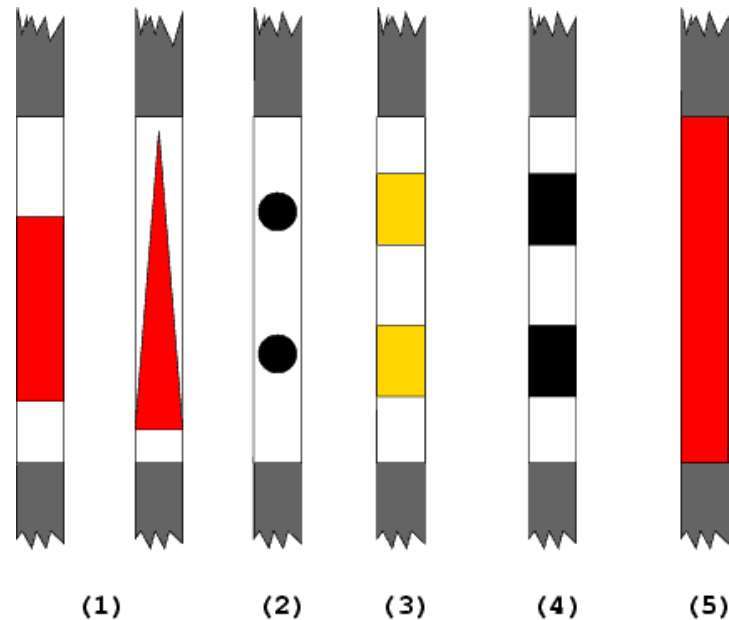
Extraktion strukturierter Daten

- genauer Tabellenaufbau kann sich zwischen verschiedenen Plänen stark unterscheiden
 - erkannten Überschriften muss Bedeutung zugeordnet werden
 - Matching basierend auf Levenshtein-Distanz zwischen erwarteter und erkannter Überschrift

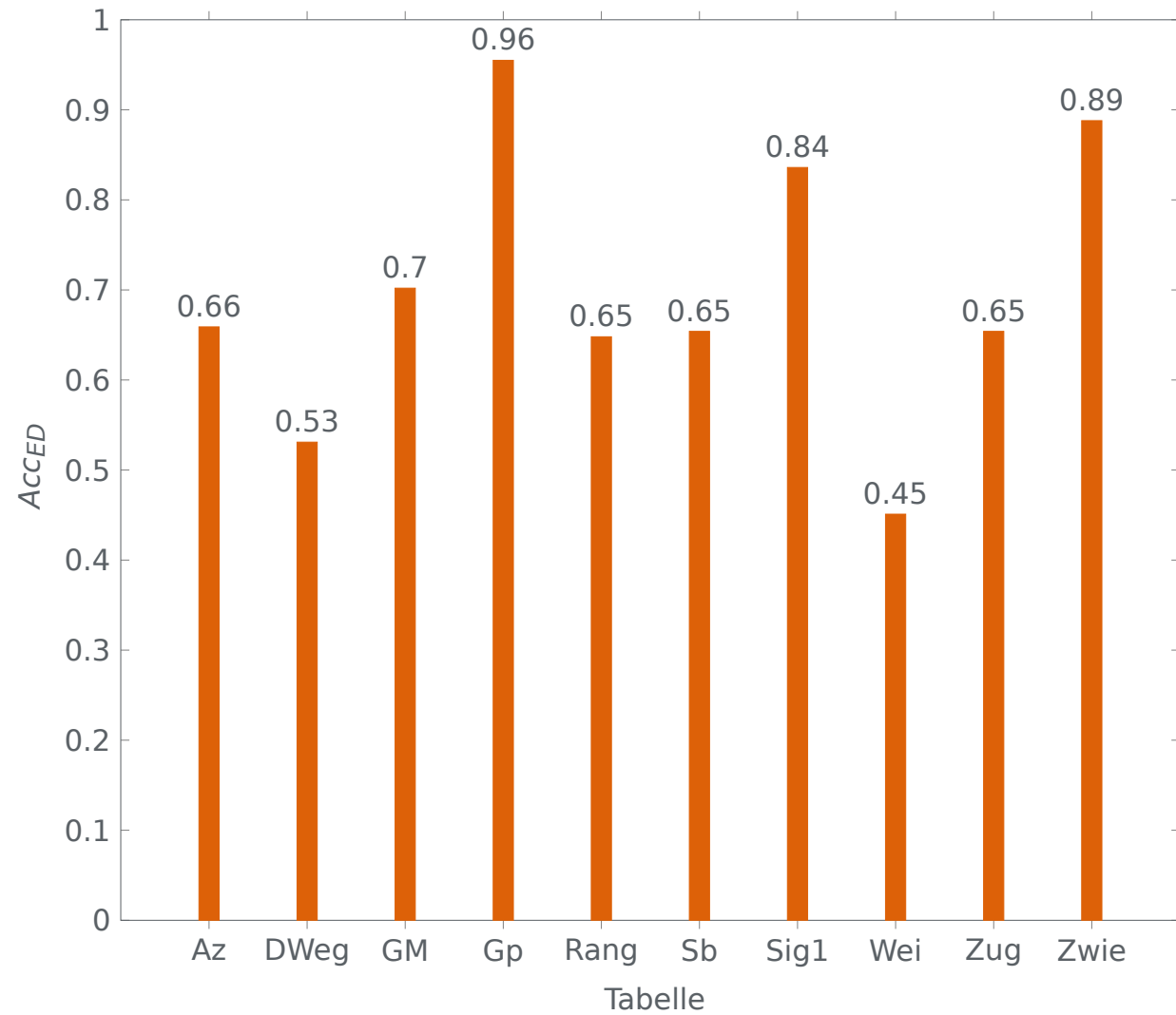
Vorlage für konventionelle ST 1 [DB819-0102V01]			P-Hausen [Kra12, S. 1]			Edorf [Puh21, S. 2]		
Bezeichnung Haupt- u. Vorsignal			Bezeichnung Haupt- u. Vorsignal			Bezeichnung Haupt- und Vorsignale		
Bezeichnung Rangier-/Schutzsignal			Bezeichnung Rangiersignale / Schutzsignale			Bezeichnung Rangiersignale		
Bezeichnung Signale			Bezeichnung Signale			Bezeichnung sonstiger Signale		
1 Standort [km] / Strecke			1 Standort [km] / Strecke			1 Strecke		
2 sonstige zulässige Anordnung	1)		2 sonstige zulässige Anordnung	1)		2 Standort [km]	1)	
3 obere Lichtpunkthöhe [mm]			3 obere Lichtpunkthöhe [mm]			3 obere Lichtpunkthöhe [mm]		
4 Regelzeichnung			4 Rz S8000.5.6 Bild-Nr.			4 Rz S8000.5.6 Bild-Nr.		
5 Ausgabe/Bild-Nr.			5 Rz S6250/2440 Bild-Nr. 15		5)	5 Rz S6250/2440 Bild-Nr. 15		5)
6 weitere Regelzeichnung			6 1.5 nach Rz S8000.7.1 Bild-Nr. / Zs nach Rz S8000.8.2 Bild-Nr.			6 Rz S8000.7.1 Bild-Nr.		
7 Ausgabe/Bild-Nr.			7 Signalsicht (Soll-/Mindestsichtbarkeit) [m]			7 Rz S8000.8.2 Bild-Nr.		
8 Rz 6240/2440 Bl. 15 Bild-Nr.	5)		8 Richtpunktfestlegung [m]			8		
9 Signalsicht (Soll-/Mindestsichtbarkeit) [m]			9 Streuscheibe / Betriebsstellung			9 Signalsicht (Soll-/Mindestsichtbarkeit) [m]		
10 erreichte Sichtbarkeit [m]			10 Fundament Art / Höhe [mm]	2)		10 Richtpunktfestlegung [m]		
11 Richtpunktfestlegung [m]			11 Sonderkonstruktion			11 Streuscheibe / Betriebsstellung		
12 Streuscheibe / Betriebsstellung			12 Sonderanordnung	4)		12		
13 Fundament Art / Höhe [mm]	2)		13 Rz Anordnung an Signalausleger, Brücke, Tunnel			13 Fundament Art / Höhe [mm]	2)	
14 Sonderkonstruktion			14 Richtungsanzeiger			14 Sonderkonstruktion		
15 Sonderanordnung	4)		15 Geschwindigkeitsanzeiger	6)		15 Sonderanordnung	4)	
16 Rz Anordnung an Signalausleger, Brücke, Tunnel			16 Geschwindigkeitsvoranzeiger	6)		16 Anordnung an Signalausleger bzw. Brücke		
17 Richtungsanzeiger			17 Signalbegriff Hp			17 Richtungsanzeiger		
18 Richtungsanzeiger			18 Signalbegriff Ra / Sh			18 Richtungsanzeiger		
19 Geschwindigkeitsanzeiger	6)		19 Signalbegriff Ks			19 Geschwindigkeitsanzeiger	6)	
20 Geschwindigkeitsvoranzeiger	6)		20 Signalbegriff Ra / Sh			20 Geschwindigkeitsvoranzeiger	6)	
21 Signalbegriff Hp			21 Kreisscheibe			21 Nr. 14 ETCS-Halt-Tafel Rz S5411 Bild-Nr.	15)	
22 Signalbegriff Ks			22 Kenn- / Zusatzlicht			22 Signalbegriff Hp		
23 Signalbegriff Ra / Sh			23 Signalbegriffe Zs (im Schirm)			23 Signalbegriff Ks		
24 Kenn- / Zusatzlicht			24 Zs am Signalposten			24 Signalbegriff Ra / Sh		
25 Signalbegriffe Zs (im Schirm)			25 Zs am Signalposten/Rohrmast (separat)			25		
26 Zs am Signalposten			26 Zp am Signalposten/Rohrmast (separat)			26 Kenn- / Zusatzlicht		
27 Zs am Signalposten/Rohrmast (separat)			27 Kombination Zp - Zs / Zs - Zs			27 Signalbegriffe Zs (im Schirm)		
28 Zp am Signalposten/Rohrmast (separat)			28 Signal zugbedient / wartbedient			28 Zs am Signalposten		
29 Kombination Zp - Zs / Zs - Zs			29 Mastschild			29 Zp am Signalposten		
30 Signal wartbedient (w) / zugbedient (z)			30 Vorsignaltafel Rz S525.4.5 Bild-Nr.			30 Kombination Zp - Zs / Zs - Zs		
31 Mastschild			31 Vorsignaltafel: Anzahl / Rz S525.2.6 Bild-Nr.			31 Signal zugbedient / wartbedient		
32 Vorsignaltafel Rz S525.4.5 (Ausgabe) Bild-Nr.			32 Vorsignaltafel: Anzahl / Rz S525.2.6 Bild-Nr.			32 Mastschild		
33 Vorsignaltafel: Anzahl / Bild-Nr. (5/xx...)			33 Bu-Anlage (HP abhängig) im Abstand [m]	Soll		33 Vorsignaltafel S525.4.3 Bild-Nr.	7)	
34 Bu-Anlage (HP abhängig) im Abstand [m] Soll			34 Bu-Anlage (HP abhängig) im Abstand [m]	links		34 Vorsignaltafel: Anzahl / S525.2.6-Bild-Nr.	7)	
35 Bu-Anlage (HP abhängig) im Abstand [m] Soll			35 Abstände zu Gleismitte von Fvk [mm]	2)	rechts	35 Bu-Anlage (HP abhängig) im Abstand [m]	Soll	
36 Abstände Gleismitte zu Mastmitte [mm] links			36 Abstände in Längsrichtung [m]		Signal	36 Abstände zu Gleismitte von Fvk 2) [mm]	links	
37 Abstände Gleismitte zu Mastmitte [mm] rechts			37 Abstände in Längsrichtung [m]		Länge	37 Abstände zu Gleismitte von Fvk 2) [mm]	rechts	
38 Abstände in Längsrichtung [m] Signal			38 Dunkelbezeichnung			38 Abstände in Längsrichtung [m]	Signal	
39 Schallkasten (separat) Länge (m)	3)		39 Dunkelbezeichnung			39 Schallkasten außerhalb der Gleise	3)	
40 Dunkelbezeichnung			40 Dunkelbezeichnung			40 Weitere Angaben		
41 Schallkasten (separat) Länge (m)	3)		41 Fahrtenanzeiger am Bahnsteig			41 Dunkelbezeichnung		
42 Dunkelbezeichnung						42 Nachahmer / Fahrtenanzeiger auf Bahnsteig		
43 Fahrtenanzeiger am Bahnsteig						43 Ssb - Anstoß - erster FMA oder		
						44 Annäherungsverschluss - erster FMA oder ...		

Stolp (2025): PlanPro-Bestandsdigitalisierung

- **Problem:** manche im Datenmodell notwendige Angaben nicht direkt in Tabelle enthalten
 - in manchen Fällen Herleitung aus anderen Angaben möglich (z. B. Signalfunktion aus Signalbezeichnung)
 - *aber:* Abweichungen von Bezeichnungskonventionen
 - *aber:* uneindeutige Bezeichnungen

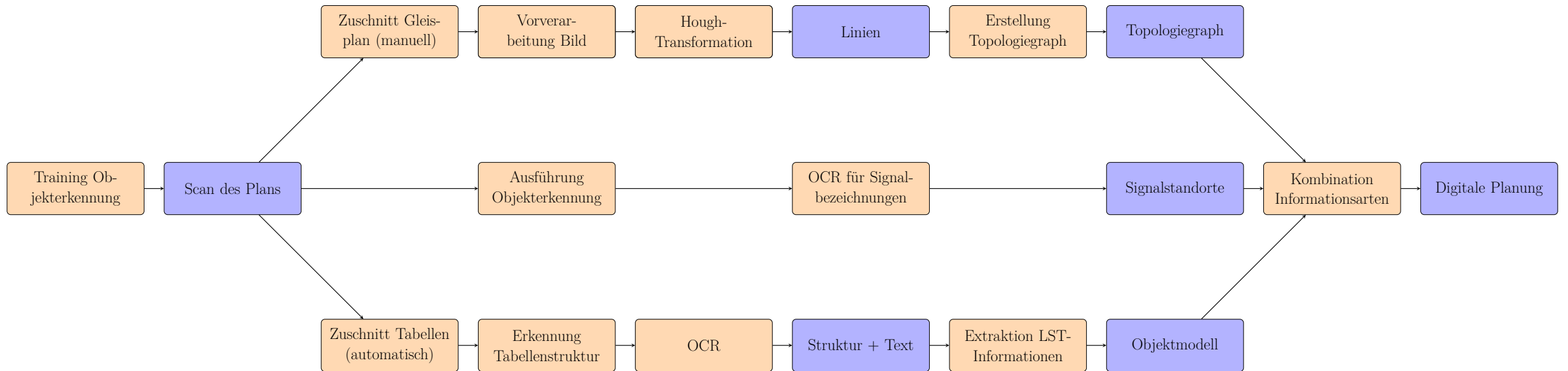


Metschulat: stellwerke.de



- Verfahren und prototypische Implementierung zur Digitalisierung von LST-Planunterlagen
 - Erkennung der Gleistopologie
 - Erkennung der Texte in Plantabellen
 - Erkennung von Signalsymbolen
- Identifikation konkreter Herausforderungen für das Verfahren
 - Planungsdokumente nicht auf maschinelle Erkennbarkeit ausgelegt
 - Übersichtsplan: unterbrochene Linien, viele Linien und Symbole auf engem Raum
 - Tabellen: Abkürzungen statt Wörter, ungewöhnliche Formatierungen

- Verbesserung der genutzten Algorithmen
 - Topologie: Kalibrierungsbild für Größenverhältnisse
 - Tabellen: Kombination mehrerer OCR-Modelle
- Entwicklung von Parsing-Verfahren für Tabellen beschleunigen
 - Nutzung von formalen Inhaltsbeschreibungen des PlanPro-AK „Agate“
- Nachvollziehbarkeit für Nutzerinnen mittels Konfidenzwerten
- Integration in den Planungsprozess



Automatisierte Bestandsplandigitalisierung in der Eisenbahninfrastrukturplanung

Verteidigung der Masterarbeit

Laura Rost

Betreuung: Prof. Dr. Andreas Polze, Arne
Boockmeyer, Lukas Pirl

Professur für Betriebssysteme und
Middleware, Hasso-Plattner-Institut

**Design IT.
Create Knowledge.**

www.hpi.de

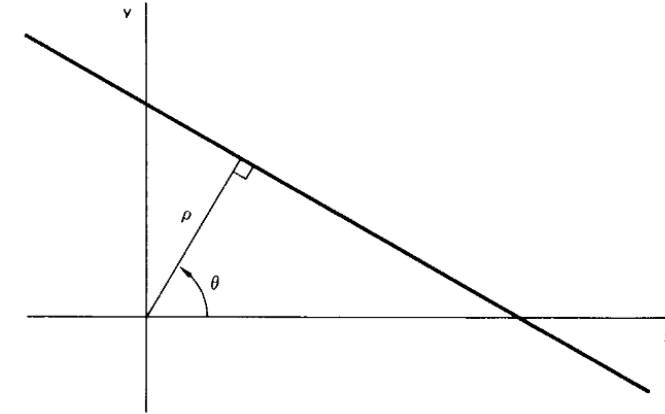


- **Hough-Transformation:**

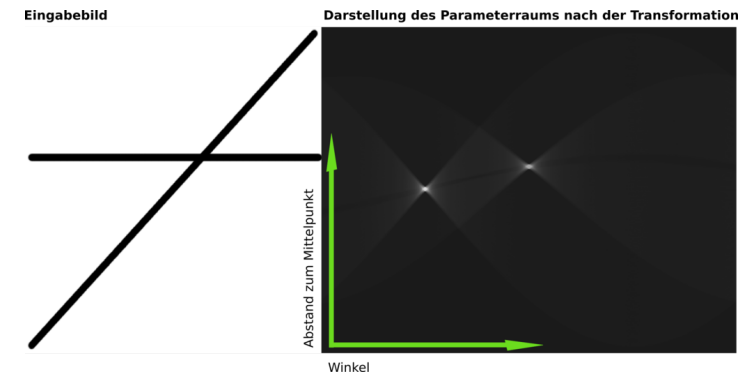
- Darstellung Geraden in Hessescher Normalform

$$\rho = x \cdot \cos(\theta) + y \cdot \sin(\theta)$$

- Kantenerkennung anhand von Helligkeitsschwankungen zwischen benachbarten Pixeln
- für jeden Kantenpunkt: Berechnung aller möglichen Paare (ρ, θ) und Markierung in Häufigkeitsmatrix
- Häufungen in Matrix = mögliche Geraden



Duda, Hart (1972): Use of the Hough Transformation



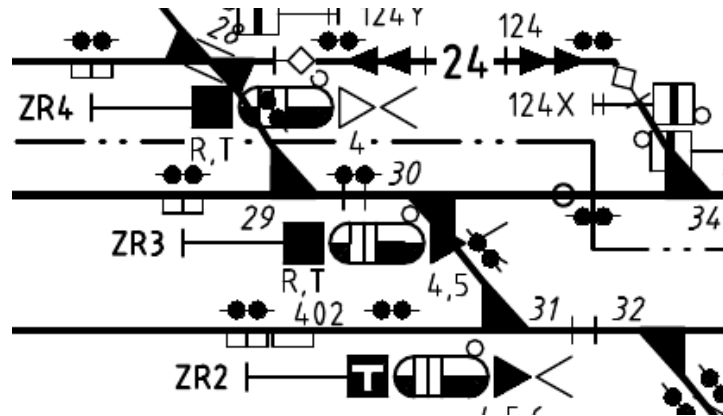
Daf-de via Wikimedia Commons

- Befahrung mit Multisensorplattform (Digitaler Knoten Stuttgart)
 - kann zwar Topografie sehr gut erfassen, aber keine Logikinformationen
- Exportfunktionen von Standardsoftware zur LST-Planung (z.B. *ProSig*, *ProVI LST*)

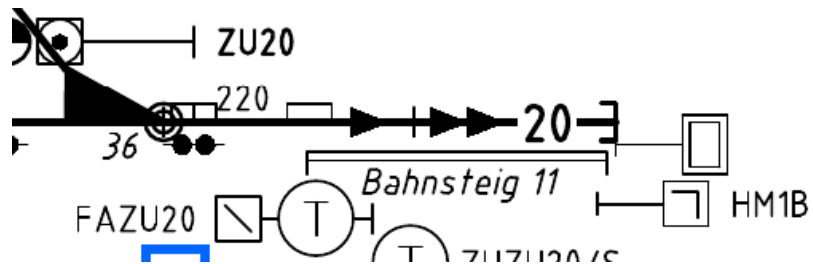


Berger et al. (2023): Beschleunigung der LST-Planung im Digitalen Knoten Stuttgart

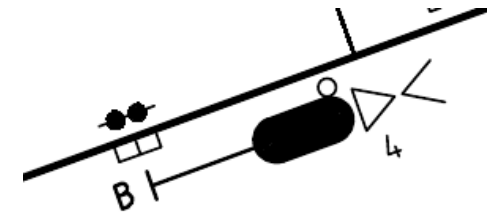
Schwierigkeiten für Symbolerkennung



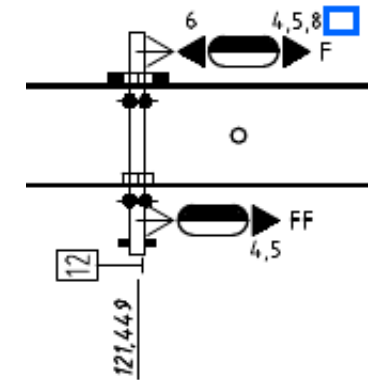
Überlappungen von Gleisen und Symbolen



Seltene Signalsymbole



Unterschiedliche Ausrichtung der Symbole



121,5

Unterschiedliche Signalbefestigungen

Oelschläger (2019): P-Hausen (Abb. 1-4)