

3.4 Vergleich der Verfahren

Die beschriebenen Eigenschaften der verschiedenen Verfahren werden in Abbildung 3.13 in einer Tabelle zusammengefasst. Für jedes Kriterium wird ein Verfahren mit \ominus für schlecht, \odot für neutral und \oplus für gut bewertet.

Vergleich der Verfahren	Matched Filter	Kantenverkettung	Integration
Bestimmung der Position im Bild	\ominus	\oplus	\oplus
Bestimmung der Größe im Bild	\ominus	\oplus	\oplus
Detektion teilverdeckter Leitpfosten	\oplus	\odot	\odot
Detektion schräger Leitpfosten	\odot	\oplus	\odot
Anwendbarkeit auf ganze Kamerabilder	\oplus	\oplus	\ominus
Anwendbarkeit auf Bildausschnitte	\oplus	\oplus	\oplus
Unabhängigkeit von Lichtverhältnissen	\ominus	\odot	\odot
Unabhängigkeit von einer Größenvorgabe	\ominus	\oplus	\oplus
Laufzeit des Verfahrens	\odot	\odot	\oplus

Abbildung 3.13: Zusammenfassung der Eigenschaften der Verfahren

3.5 Receiver Operator Characteristic Curves

Receiver Operator Characteristic (ROC) Curves werden eingesetzt, um die Qualität eines Detektors zu ermitteln und um einzelne Parameter eines Detektors zu evaluieren. Dazu werden in einem zweidimensionalen Diagramm für verschiedene Werte eines Parameters des Detektors die korrekt erkannten Objekte auf der vertikalen Achse den Falschalarmen auf der horizontalen Achse gegenübergestellt, wie es in Abbildung 3.14 zu sehen ist. Die Güte eines Detektors wird anhand der „Area under Curve“ gemessen, also der Fläche unterhalb der Kurve zu einem einstellbaren Parameter. Eine Area under Curve von 50% des Diagramms, wie sie in der Abbildung grün eingezeichnet ist, entspricht einem schlechten Detektor, der in etwa einem Zufallsgenerator gleich kommt sofern nur zwischen positiven und negativen Ergebnissen unterschieden werden muss. Die Detektion und Lokalisierung von Leitpfosten in ganzen Kamerabildern dagegen ist komplexer. Hier wurden die ROC Kurven verwendet um Parameter der Verfahren einzustellen.

Auf die Darstellung der einzelnen Parameterwerte im Verlauf der Kurven wird verzichtet, da bei einer zweidimensionalen Darstellung von drei Dimensionen der Verlauf der Kurve nicht interpretiert werden kann.

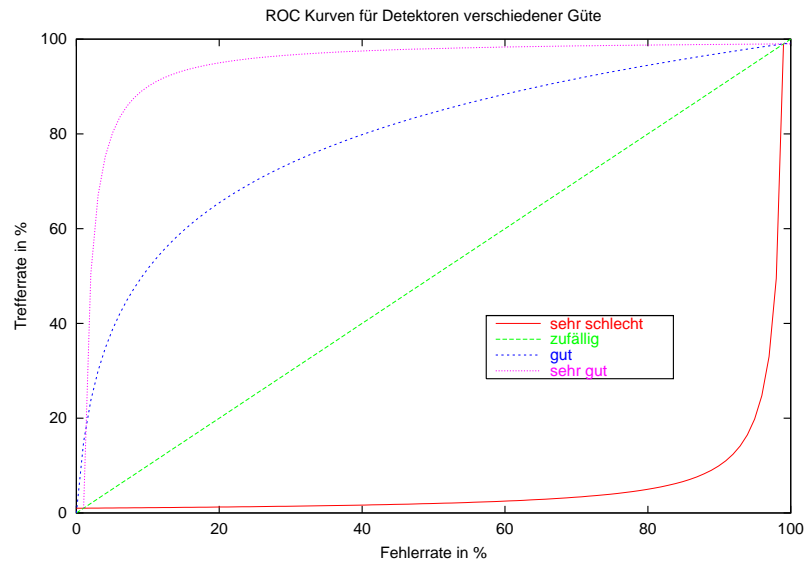


Abbildung 3.14: Beispiel für ROC Kurven

3.5.1 Einstellen der Parameter der Leitpfostendetektion

Um geeignete Werte für die in den Verfahren verwendeten Schwellwerte und Parameter zu finden, wurden 1850 Bilder aus verschiedenen, im Versuchsträger aufgenommenen Sequenzen ausgewählt und alle in den Einzelbildern auftretenden Leitpfosten markiert. Anschließend wurde für jeden einzustellenden Parameter ein Wertebereich vorgegeben und das entsprechende Verfahren iterativ auf alle Bilder angewendet. Dabei wurde für 11 verschiedene Parameterwerte aus dem Intervall protokolliert, wie viele der Leitpfosten korrekt detektiert wurden und wie viele Falschalarme das Verfahren liefert.

Einzelne Bilder, die für die unterschiedlichen Sequenzen charakteristisch sind, sind in Abbildung 3.15 zu sehen. Bild a) ist aus einer Sequenz mit hohem Kontrast, vielen Kurven und vielen Leitpfosten. Bild b) ist aus einer kontrastärmeren Sequenz, die gegen die Sonne aufgenommen wurde. Bild c) ist aus einer Sequenz in der nur in 10% der Einzelbilder Leitpfosten auftreten. Bild d) ist aus einer Nachtsequenz über Landstraßen und durch einen Stadtteil.

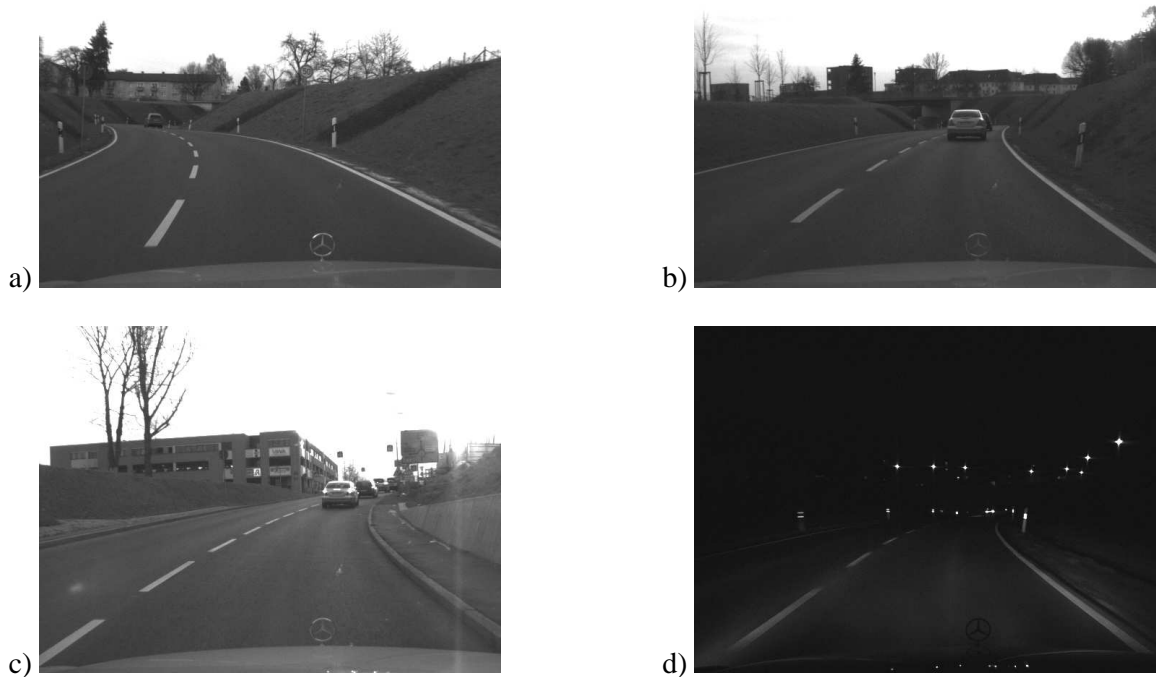


Abbildung 3.15: Beispielbilder aus Sequenzen zur ROC Generierung

Die vertikale Achse der ROC Kurve zeigt die Anzahl der korrekt detektierten Leitpfosten in Prozent gegenüber den tatsächlich in allen Einzelbildern vorhandenen Leitpfosten. Die horizontale Achse zeigt die Anzahl der falsch detektierten Leitpfosten ebenfalls in Prozent gegenüber den tatsächlich in Einzelbildern vorhandenen Leitpfosten. Dieser Wert übersteigt 100%, falls mehr Leitpfosten falsch erkannt wurden als überhaupt richtige Leitpfosten in Einzelbildern vorhanden sind.

Um einen Parameter eines Verfahrens auf einen geeigneten Wert festzulegen nimmt man einen Wert, mit dem viele richtige Leitpfosten und gleichzeitig möglichst wenige falsche Leitpfosten detektiert werden. Auf der ROC Kurve wählt man also einen Wert, der auf der Kurve in der oberen linken Region des Graphen liegt. Die Wahl des Wertes erfolgt subjektiv, je nach dem ob die Prioritäten bei vielen Kandidaten oder wenigen Falschalarmen bei der jeweiligen Anwendung liegen.

Anhand der ROC Kurve lässt sich auch erkennen, ob ein Parameter relevant für ein Verfahren ist. Je mehr ein Parameter ein Verfahren beeinflusst, desto größer ist das Gebiet des Graphen, über das sich die ganze Kurve zu einem Parameter erstreckt. Besteht die Kurve aus nur einem Punkt, so ist der entsprechende Parameter unwichtig für das Verfahren.

Für die unterschiedlichen Sequenzen wurde jeweils eine eigene Kurve generiert, damit gezeigt werden kann, ob ein Parameter in unterschiedlichen Situationen unterschiedlich eingestellt werden muss, um optimale Ergebnisse zu erzielen.

Um einen Parameter einzustellen, müssen für alle anderen Parameter bereits feste Werte vorgegeben werden. Deshalb wurden die ROC Kurven in mehreren Iterationen durchgeführt. Dabei wurden in vier Durchgängen jeweils die besten Werte aus dem vorherigen Durchgang als Ausgangswerte für alle Parameter verwendet, um einem einzelnen Parameter Werte aus dem Intervall um den optimalen Wert des letzten Durchgangs zuzuweisen.

3.5.2 Ergebnisse für die Parameter der Verfahren

Abbildungen 3.16 bis 3.18 zeigen die ROC Kurven für die Schwellwerte des Verfahrens der Integration im zweiten Durchgang. Unter den Diagrammen befinden sich Tabellen, die den subjektiv bestimmten besten Wertebereich für jede der Kurven zu den verschiedenen Sequenzen angeben. Die ROC Kurven zu den Parametern des Integrationsverfahrens werden im Einzelnen erklärt.

Die Kurven in Bild 3.16 gehören zu dem Schwellwert, der die lokalen Maxima im vertikalen Integral des Suchbereichs Leitpfosten zuordnet.

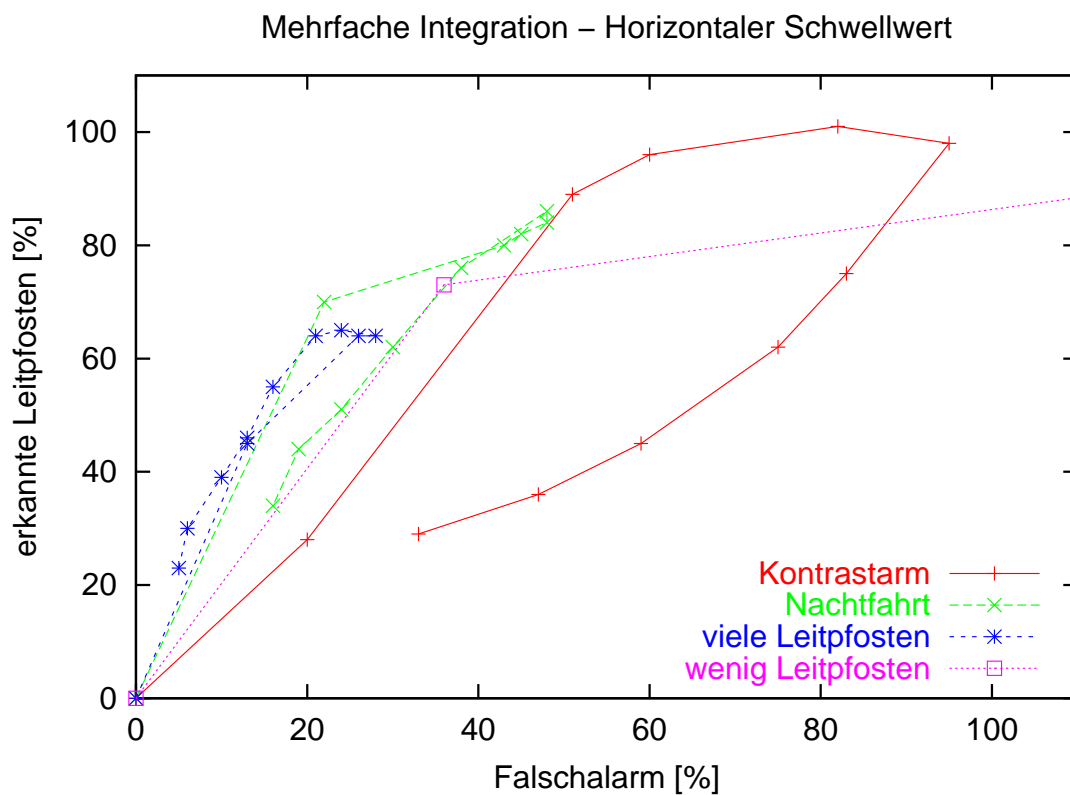
Alle Kurven für die verschiedenen Sequenzen beginnen im Ursprung, da das Verfahren keine Leitpfosten detektiert wenn für diesen Schwellwert eine 0 festgelegt wird. Erhöht man diesen Wert, so steigt auch die Rate der detektierten Leitpfosten, solange der Schwellwert unter den Werten der in den Integralen auftretenden lokalen Maxima der Leitpfosten bleibt. Übersteigt der Schwellwert die lokalen Maxima im Integral, die Leitpfosten repräsentieren, so nimmt die Zahl der detektierten Leitpfosten wieder ab. Je mehr sich der Parameter dem absoluten Maximum der Integralwerte nähert, desto weniger lokale Maxima werden Leitpfosten zugeordnet und die Kurve nähert sich wieder dem Ursprung.

In Abbildung 3.17 wird die ROC Kurve für den vertikalen Schwellwert der Integration festgelegt. Dieser Wert dient der vertikalen Lokalisierung eines detektierten Leitpfostens im Bild. Die Kurve für diesen Parameter verläuft analog zu der oben beschriebenen Kurve in Abbildung 3.16

Die Kurven in Abbildung 3.18 gehören zum Toleranzparameter der Integration. Mit diesem Wert wird festgelegt mit welcher Toleranz die in Kapitel 3.6.2 beschriebenen Geometrieprüfungen für detektierte Leitpfosten durchgeführt werden.

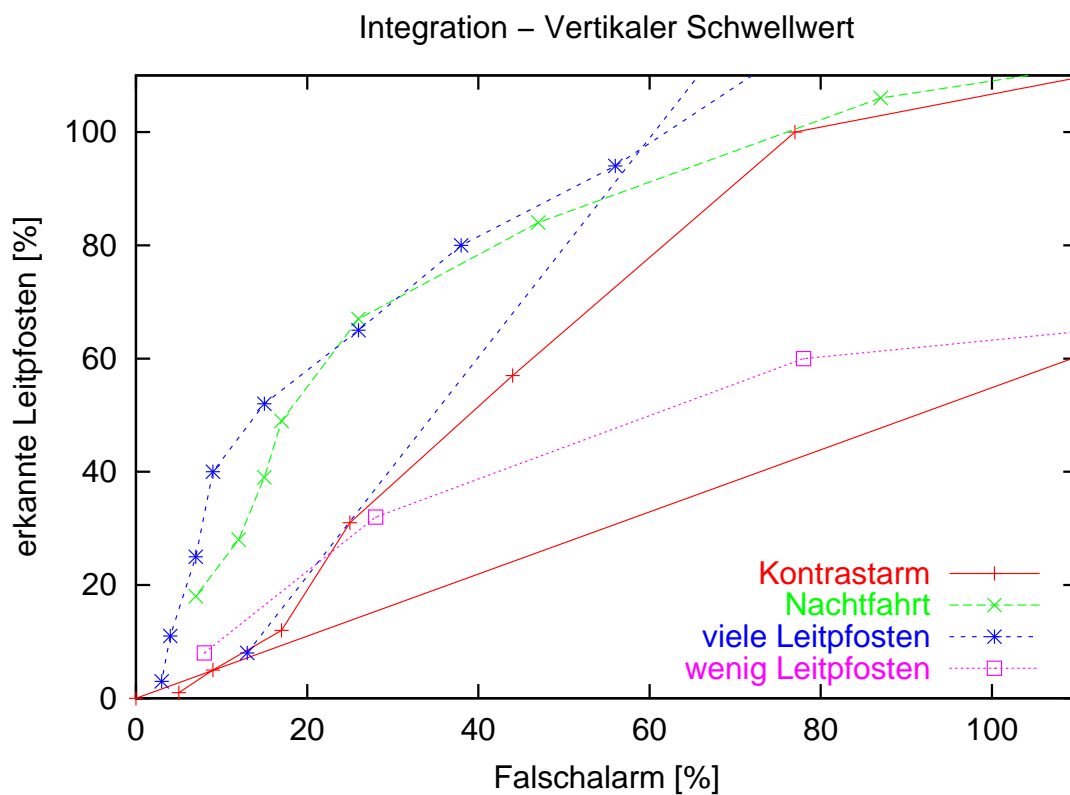
Die Kurve beginnt für den Wert 1.0, der bedeutet, dass die Masse und Verhältnisse der Leitpfosten bildpunktgenau stimmen müssen. Für diesen Wert beginnt die Kurve nicht im Ursprung, da auch mit dieser Einstellung Leitpfosten korrekt detektiert werden. Nimmt der Wert für den Toleranzparameter zu, so werden zunächst neben Falschalarmen auch zusätzliche korrekte Leitpfosten erkannt. Dies sind Leitpfosten, die zum Beispiel schräg stehen, bei nicht ebener Straße auf einem Hügel stehen oder teilverdeckt sind, wodurch die Seitenverhältnisse und Größen der Leitpfosten nicht denen eines geraden, ganz sichtbaren Leitpfostens auf ebener Straße entsprechen. Wurden diese zusätzlichen Leitpfosten detektiert, der Toleranzwert jedoch noch mehr erhöht, so werden nur zusätzliche Falschalarme durch das Verfahren der Integration ausgelöst.

Für den Toleranzparameter wählt man also einen Wert, der kleiner ist als der Schwellwert, ab dem durch das Verfahren der Integration nur noch zusätzliche Falschalarme ausgelöst und keine weiteren korrekten Leitpfosten detektiert werden.



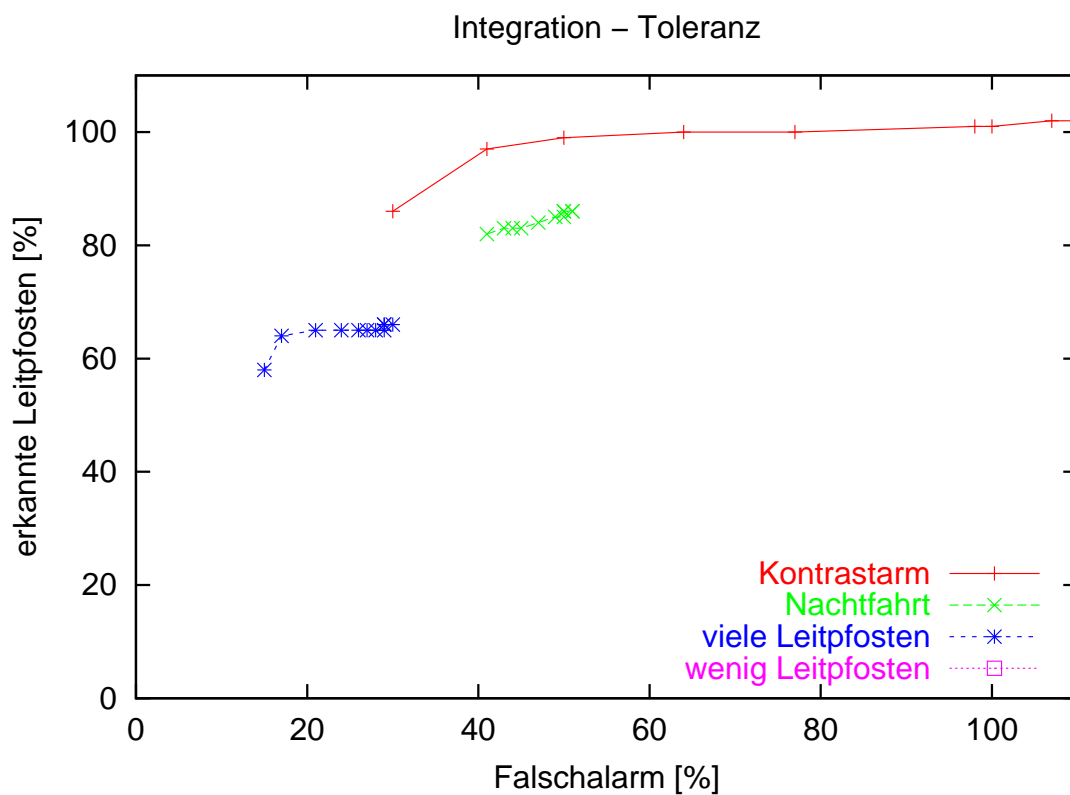
Horizontaler Schwellwert Sequenz	Grauwert [0,255]
Kontrastarm	20-30
Nachtfahrt	10-30
Viele Leitpfosten	50-60
Wenige Leitpfosten	10
Gewählter Wert	40

Abbildung 3.16: ROC Kurve für den vertikalen Schwellwert der Integration



Vertikaler Schwellwert Sequenz	Grauwert [0,255]
Kontrastarm	80-100
Nachtfahrt	80-100
Viele Leitpfosten	40-80
Wenige Leitpfosten	10-100
Gewählter Wert	80

Abbildung 3.17: ROC Kurve für den vertikalen Schwellwert der Integration



Toleranzparameter	Faktor
Sequenz	[0.0, 100.0]
Kontrastarm	1,5-1,6
Nachtfahrt	1,5-1,6
Viele Leitpfosten	1,5-1,6
Wenige Leitpfosten	1,0-1,5
Gewählter Wert	1,5

Abbildung 3.18: ROC Kurve für den Toleranzparameter der Integration

Die ROC Kurven für die Parameter der Kantenverkettung sind in Abbildung 3.20 zu sehen. Die Prüfung der Geometrien detektierter Leitpfosten wird bei diesem Verfahren über mehrere Parameter bestimmt, die bei der Suche der Leitpfosten in den Vektorlisten verwendet werden. Der „Toleranz“ Parameter ist für die Toleranz bei der Prüfung der Verhältnisse zwischen Höhe, Breite und Distanz der einzelnen Leitpfosten verantwortlich. Der „Abstand der Vektoren“ gibt an, wie breit ein Leitpfosten maximal sein darf. Der „Winkel zwischen den Vektoren“ gibt die Toleranz bei der Suche nach parallelen Vektoren an. Hier ist eine Toleranz nötig, da die Orientierung der Vektoren, die die binarisierten Kanten der Leitpfosten in den Kamerabildern repräsentieren, von der Orientierung des Leitpfostens selbst abweichen kann. Mit der „Schräglage der Leitpfosten“ wird vorgegeben, wie stark die Orientierung eines Leitpfostens von der Orthogonalen der Straßenebene abweichen kann.

ROC Kurven für weitere Parameter der Kantenverkettung sind in Abbildung 3.20 d) e) und f) dargestellt.

Die Lückenlänge gibt an bis zu welchem Abstand an Bildpunkten Kanten noch zusammengehören. Die „Mindestlänge“ der Leitpfosten gibt die minimale Höhe der Leitpfosten im Bild vor. Der Parameter der „Erosion“ legt fest wie viele % der hellsten Bildpunkte im Kantenbild für die Kantenverkettung durch die in Kapitel 3.2.2 beschriebene Binarisierung verwendet werden.

Die zusammengefassten Ergebnisse für die Parameter der Kantenverkettung sind in Abbildung 3.19 zu sehen.

Parameter	Wert	Einheit
Toleranz	1.3	
Winkel zwischen den Vektoren	17	°
Schräglage der Leitpfosten	30	°
Lückenlänge in Kanten	1	Bildpunkt
Mindestlänge der Leitpfosten	4	Bildpunkte
Erosion des Kantenbildes	4	%

Abbildung 3.19: Parameterwerte für die Kantenverkettung

KAPITEL 3. LEITPFOSTENERKENNUNG MITTELS BILDVERARBEITUNG

RECEIVER OPERATOR CHARACTERISTIC CURVES

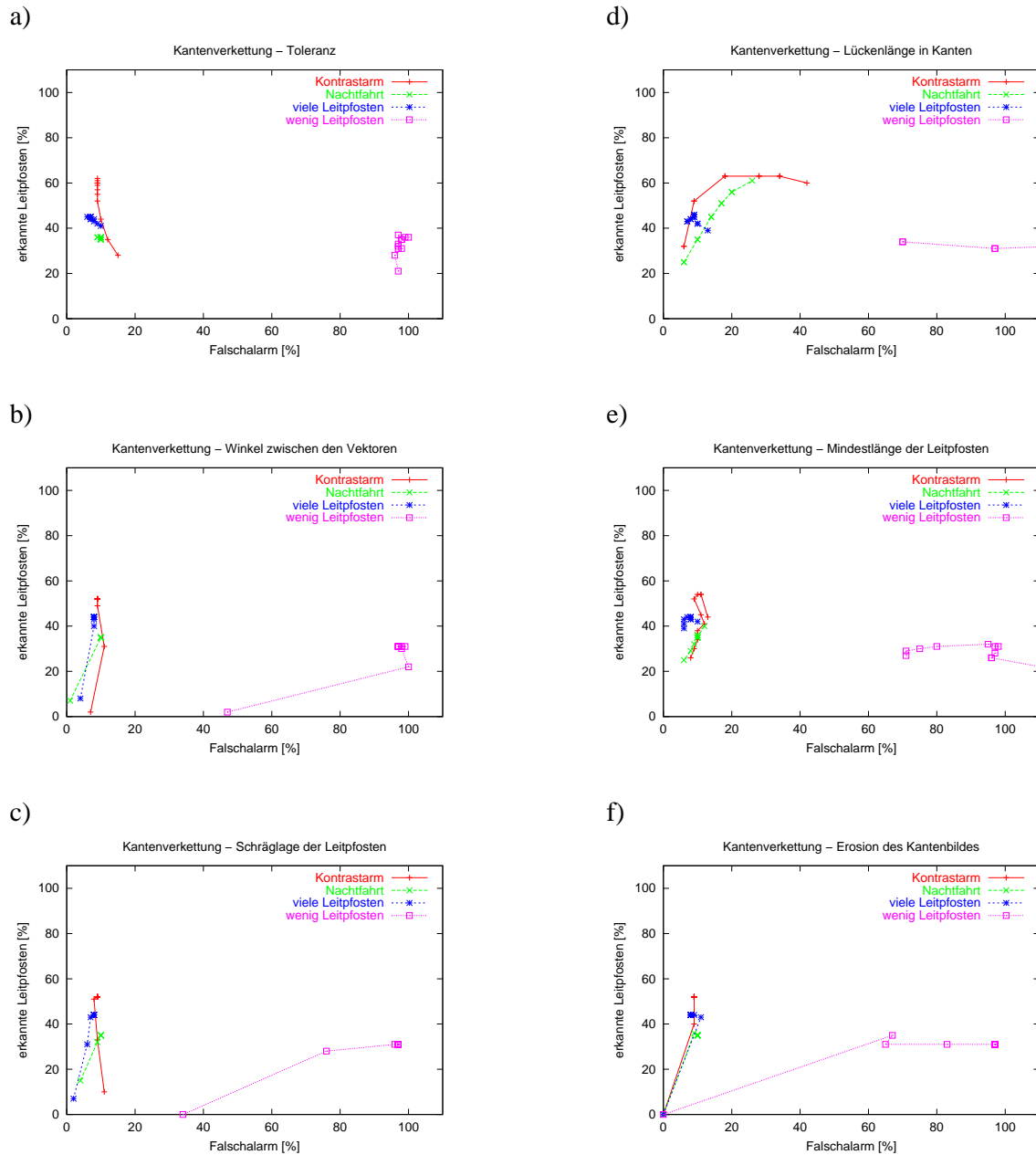


Abbildung 3.20: ROC Kurven für die Parameter der Kantenverkettung