

Untersuchung des Verkehrsablaufs bei Einrichtung innenliegender Linkseinbiegespuren für typische Entwurfssituationen innerorts und im Vorfeld bebauter Gebiete

FA 77.492

Forschungsstelle: Technische Universität Berlin, Institut für Land- und Seeverkehr / SHP Ingenieure, Hannover

Bearbeiter: Richter, T. / Neumann, E. / Seebo, D. / Zierke, B.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: Februar 2011

1 Aufgabenstellung

An plangleichen Knotenpunkten kommen für gewöhnlich die drei Gestaltungs- und Betriebsformen "Einmündung/Kreuzung ohne Lichtsignalanlage", "Einmündung/Kreuzung mit Lichtsignalanlage" und "Kreisverkehr" zum Einsatz. Sowohl die Leistungsfähigkeit als auch die Verkehrssicherheit fallen an Einmündungen/Kreuzungen ohne Lichtsignalanlage im Vergleich zu den beiden übrigen Gestaltungs- und Betriebsformen eher gering aus. In der jüngeren Vergangenheit kommt daher zunehmend eine Sonderform von Einmündungen ohne Lichtsignalanlage zum Einsatz, mit welcher sowohl die Leistungsfähigkeit als auch die Verkehrssicherheit entsprechender Knotenpunkte gesteigert und dem Niveau von Einmündungen mit Lichtsignalanlage bzw. Kreisverkehren angenähert werden soll. Dazu wird zwischen den beiden Fahrstreifen der Haupttrichtung (übergeordnete Straße) ein sogenannter "innenliegender Linkseinfädelsstreifen" (iLES) eingerichtet. Dieser soll den linkseinbiegenden Fahrzeugen aus der Nebenrichtung das Einbiegen in die übergeordnete Straße erleichtern, indem ein eigener Aufstell- bzw. Beschleunigungsstreifen zur Verfügung gestellt wird.

In den deutschen Regelwerken und Richtlinien ist diese Sonderform von Knotenpunkten bisher nicht enthalten, auch die in den Regelwerken bisher enthaltenen Berechnungsgrundlagen für die Leistungsfähigkeit lassen sich nicht unverändert anwenden.

Ziel der Untersuchung war die Überprüfung von iLES hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit und Verkehrssicherheit. Außerdem wurden Einsatzgrenzen aufgezeigt und Gestaltungshinweise gegeben.

2 Untersuchungsmethodik

2.1 Linkseinbiegevorgang mit/ohne iLES

Der Einbiegevorgang von linkseinbiegenden Fahrzeugen an Einmündungen ohne Lichtsignalanlage lässt sich in die Teilprozesse "Einfahren/Kreuzen" und "Beschleunigen" auf dem Hauptfahrstreifen gliedern. Diese Teilprozesse unterscheiden sich an Einmündungen mit und ohne iLES. An Knotenpunkten ohne iLES erfolgt erst der Teilprozess Einfahren/Kreuzen, anschließend der Teilprozess Beschleunigen.

An Knotenpunkten mit iLES erfolgt ebenfalls erst der Teilprozess Einfahren/Kreuzen, allerdings ohne Berücksichtigung von Strom 8. Erst nach dem Teilprozess Beschleunigen wird der Vorrang des Stroms 8 beim Einfädeln berücksichtigt.

2.2 Stand der Wissenschaft und Technik

In den für die Auswahl geeigneter Knotenpunktarten innerhalb bebauter Gebiete maßgebenden Richtlinien für die

Anlage von Stadtstraßen (RASt 06) sind iLES nicht thematisiert. Der HUK-VERBAND hat 1964 vor der Lösung gewarnt, da aus Sichtgründen (fehlender rechter Außenspiegel) eine ungünstige Verkehrssicherheit befürchtet und eine geringe Akzeptanz erwartet wurde.

Erstmals haben sich Durth et. al. im Jahr 1998 mit iLES in Deutschland auseinandergesetzt. In einer Pilotstudie untersuchten sie zwei Knotenpunkte außerhalb bebauter Gebiete in Hessen. Des Weiteren befasste sich Kneifel 2001 bei seiner Diplomarbeit mit iLES in Baden-Württemberg und untersuchte dabei drei Knotenpunkte, die über einen solchen iLES verfügen. Im darauffolgenden Jahr (2002) erschien in den USA ein Bericht von Hanson zu Median Acceleration Lanes (MAL) im Bundesstaat Minnesota. Jüngste Untersuchungen in Deutschland wurden von Matena im Jahr 2007 durchgeführt, wobei drei Knotenpunkte in Nordrhein-Westfalen sowie Rheinland-Pfalz analysiert wurden. Im Vorfeld des vorliegenden Forschungsprojekts führte Lotz im Jahr 2010 Untersuchungen an iLES durch. Im Rahmen einer Diplomarbeit betrachtete Lotz den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit an drei Knotenpunkten außerhalb bebauter Gebiete.

Allen genannten Untersuchungen ist gemein, dass die Leistungsfähigkeit der Knotenpunkte mit iLES in unterschiedlichem Maße gesteigert werden kann. Die Aussagen zur Verkehrssicherheit sind dagegen vage. Ebenfalls wurden häufig die fehlenden Verkehrshinweise beklagt, die insbesondere für ortsfremde zur richtigen Nutzung des iLES erforderlich sind.

2.3 Bestandsanalyse und Auswahl von Untersuchungsbeispielen

Im vorliegenden Forschungsprojekt erfolgte eine möglichst vollständige Bestandsanalyse der im Bundesgebiet zum jetzigen Zeitpunkt im Einsatz befindlichen Knotenpunkte mit iLES. Es konnten über 120 Knotenpunkte zusammengetragen werden (überwiegend in Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Hessen und Baden-Württemberg). Hiervon wurden 50 Knotenpunkte für die makroskopische Unfallanalyse ausgewählt und 10 Knotenpunkte für empirische Untersuchungen und die mikroskopische Unfallanalyse.

2.4 Empirische Untersuchungen

Um die Untersuchungsmethodik zu prüfen, wurde eine Vorstudie durchgeführt. Dabei hat sich ergeben, dass die Messung von Grenz- und Folgezeitlücken für den Teilvorgang des Einfädels kaum möglich ist, sodass von der Ermittlung dieser Kenngröße abgesehen wurde. Auch die durchgeführten Verfolgungsfahrten haben gezeigt, dass diese ebenso wenig zielführend sind, da die Wahrscheinlichkeit, dass bei Fahrten im Hauptstrom genau im Moment des Passierens des Knotenpunktes ein Linkseinbieger in diesen einfährt und so die Abstände zu diesem gemessen werden können, sehr gering ist.

Für die ausgewählten 10 Knotenpunkte wurden jeweils Videoaufnahmen von 6:00 bis 10:00 Uhr und von 15:00 bis 19:00 Uhr gemacht. Aus den Aufnahmen wurden die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke am Knotenpunkt, die Spitzenstunde, Zeitlücken in der Spitzenstunde sowie Wartezeiten und Rückstaulängen am Knotenpunkt ermittelt. Außerdem wurde die Akzeptanz des eingerichteten iLES und

die Stellen, an denen vom iLES auf den durchgehenden Fahrstreifen gewechselt wurde, erfasst.

2.5 Unfallanalyse

Im Rahmen der makroskopischen Unfallanalyse an 50 Knotenpunkten wurden insgesamt 816 Unfälle der Jahre 2006 bis 2008 ausgewertet. Für alle Knotenpunkte wurden die relevanten Unfallkenngrößen ermittelt (Unfallkosten, Unfalldichte, Unfallrate, Unfallkostendichte, Unfallkostenrate) sowie die Unfalltypen (einstellig und dreistellig). Auch der Straßenzustand und die Lichtverhältnisse wurden erfasst. Insgesamt konnte nicht festgestellt werden, dass Knotenpunkte mit iLES unsicherer sind als Knotenpunkte ohne iLES oder sie in anderer Hinsicht auffällig wären.

Die Auswertung der Unfalldiagramme im Rahmen der mikroskopischen Unfallanalyse an 10 Knotenpunkten zeigte zwei wesentliche Unfallhergänge, die im Zusammenhang mit den iLES zu sehen sind:

- Kollisionen von Linkseinbiegern mit Linksabbiegern. Es kann vermutet werden, dass die Gestaltung der iLES (oder entsprechender, ungeeigneter Hinweisschilder) suggerieren, dass ein Vorrang gegenüber den Linksabbiegern besteht.
- Kollisionen beim Fahrstreifenwechsel vom iLES auf den durchgehenden Fahrstreifen. Ein Teil der Unfälle entsteht, da entweder Fahrzeuge abbremsen, um Fahrzeugen auf dem iLES das Einfädeln zu ermöglichen und damit einen Auffahrunfall verursachen oder der Fahrer erschrickt, weil der Linkseinbieger ihm vermeintlich die Vorfahrt nimmt.

Probleme mit Radfahrern und Fußgängern traten kaum auf,

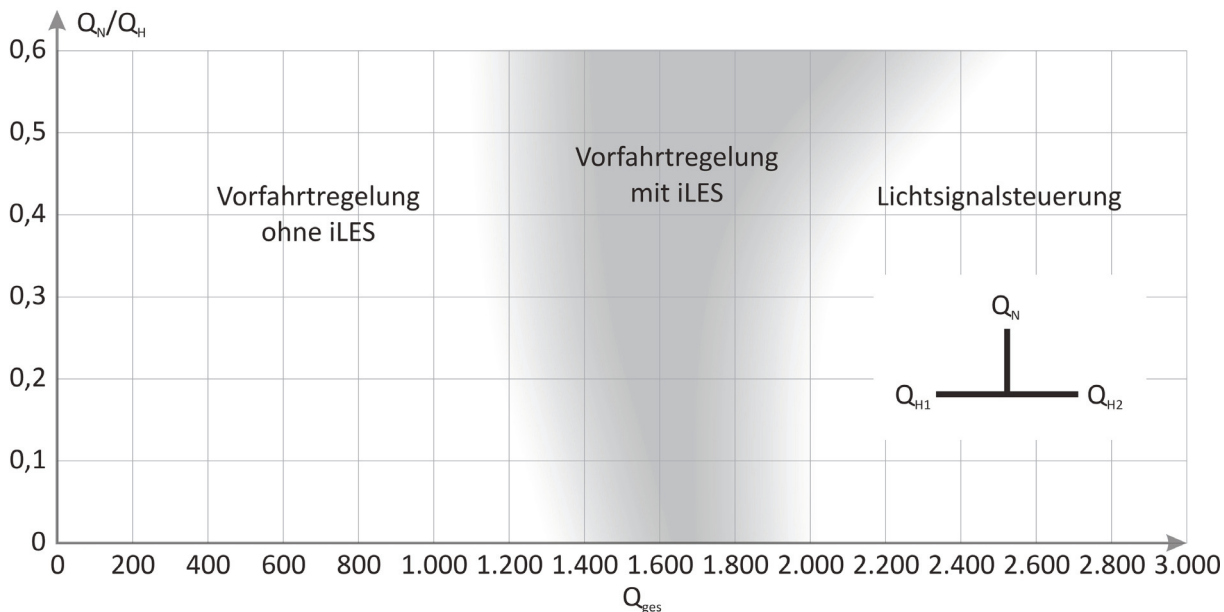


Bild 1: Möglicher Einsatzbereich für iLES

2.7 Verfahren zur Ermittlung der Wartezeiten

Da das Funktionsprinzip von Einmündungen mit iLES nicht grundsätzlich von unsignalisierten Einmündungen ohne iLES abweicht, bietet es sich an, das vorhandene Verfahren des HBS zu übernehmen und entsprechend zu modifizieren, indem

was jedoch teilweise darauf zurückzuführen ist, dass der Fußgänger- und Radverkehr in den untersuchten Beispielen keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielt.

2.6 Leistungsfähigkeit

Ein wesentliches Ziel bei der Untersuchung der Leistungsfähigkeit von iLES war zum einen die Abgrenzung des Einsatzbereichs gegenüber Einmündungen ohne iLES und gegenüber Einmündungen mit Lichtsignalanlage (LSA). Zum anderen sollte ein Verfahren entwickelt werden, mit dem die Wartezeiten an Einmündungen mit iLES und damit entsprechend auch die Verkehrsqualität ermittelt werden kann.

Eine Abgrenzung des Einsatzbereichs von Einmündungen mit iLES gegenüber Einmündungen ohne iLES bzw. mit LSA wurde vorgenommen, indem die Wartezeiten in der untergeordneten Zufahrt für alle drei Knotenpunktarten für unterschiedliche Knotenpunktverkehrsstärken und Belastungssituationen ermittelt wurde. Hieraus wurde einerseits die Grenze ermittelt, ab der eine Einmündung ohne iLES nicht mehr leistungsfähig ist und ein iLES sinnvoll eingesetzt werden kann und andererseits die Grenze ermittelt, ab der eine Signalisierung zu Vorteilen gegenüber einem iLES führt. Zur Ermittlung der Wartezeiten wurde auf die Verfahren des HBS und mikroskopische Simulationsmodelle (VISSIM) zurückgegriffen. Der mögliche Einsatzbereich von Einmündungen mit iLES ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

Strom 8 vernachlässigt wird und andere Werte für die Grenz- und Folgezeitlücken verwendet werden.

2.8 Expertenworkshop

Um die Erfahrungen, die innerhalb und im Vorfeld bebauter Gebiete von den Baulastträgern mit iLES gemacht wurden, einbeziehen zu können, wurde am 6. Oktober 2010 ein Expertenworkshop in Frankfurt am Main mit dem Betreuerkreis und Vertretern der BAST, der Landesbehörden (zentrale und regionale Bereiche) und von Städten durchgeführt. Aus den Diskussionsbeiträgen konnten eine Reihe von Hinweisen aufgenommen werden, die Eingang in die erarbeiteten Ergebnisse gefunden haben.

3 Empfehlungen und Hinweise für die Anwendung

Einsatzmöglichkeiten

Eine Einmündung mit innenliegendem Einfädelsstreifen (iLES) kann als Alternative zu einer nicht signalisierten Einmündung eingesetzt werden, wenn ansonsten keine ausreichende Verkehrsqualität erreicht würde oder die Verkehrsqualität verbessert werden soll. Das Ausmaß der Kapazitätserhöhung ist jedoch begrenzt. Im Vergleich mit einer Lichtsignalanlage (LSA) ist die Kapazitätserhöhung geringer, eine LSA kann bei gleichem Ausbaustandard noch in deutlich höheren Belastungsbereichen eingesetzt werden. Der Einsatzbereich eines iLES ist im Hinblick auf die Kapazität also vor allem dann zu sehen, wenn eine Einmündung ohne iLES an der Grenze der Kapazität (Qualitätsstufe E oder knapp F) betrieben wird oder eine etwas bessere Verkehrsqualität bei ansonsten ausreichender Verkehrsqualität (Stufe D oder besser) erreicht werden soll. Alternativen zu iLES sind in der Einrichtung einer vollständigen Signalisierung oder einer unvollständigen Signalisierung des Knotenpunktes, ggf. in Verbindung mit einer Furt, zu sehen.

Verkehrssicherheit

Die Unfalluntersuchung hat gezeigt, dass Knotenpunkte mit iLES nicht unsicherer sind als Knotenpunkte ohne iLES. Ob iLES eine geeignete Maßnahme zur Erhöhung der Verkehrssicherheit darstellen und wie die Verkehrssicherheit im Vergleich mit anderen Maßnahmen (beispielsweise der Einrichtung einer LSA oder dem Umbau zum Kreisverkehr) zu beurteilen ist, müsste anhand einer Vorher-Nachher-Untersuchung mit großen Fallzahlen überprüft werden.

Die vorliegende Untersuchung zeigt mehrere Aspekte auf, die im Hinblick auf die Verkehrssicherheit bei der Einrichtung von iLES beachtet werden sollten:

- Es ist großer Wert auf die Vermittlung der Verkehrsregelung mit iLES zu legen (Hinweisschilder).
- Die Markierung muss das Verstehen der Verkehrsregelung unterstützen und insbesondere die Vorrangregelung der Linksabbieger und der Geradeausfahrer gegenüber den Linkseinbiegern vermitteln.
- Eine Einmündung mit iLES ist vergleichsweise komplex. Ein Knotenpunkt sollte daher nicht mit einem iLES ausgestattet werden, wenn eng benachbart weitere Knotenpunkte liegen, wodurch die Komplexität weiter erhöht und die Fahrer evtl. überfordert würden.
- Ein iLES sollte nur dann eingerichtet werden, wenn die übrigen Elemente des Knotenpunktes und des Umfelds nicht ungewöhnlich sind. Aspekte, die die Anforderungen an das Begreifen der Situation zusätzlich erhöhen, sollten vermieden werden.

- Ein iLES kann nur dann eingerichtet werden, wenn ein Linksabbiegestreifen vorhanden ist. Ansonsten würde der zu beachtende Linksabbiegerstrom und der beim Einfahren in den iLES nicht zu beachtende Geradeausfahrerstrom auf einem Fahrstreifen geführt. Außerdem ist beim Fehlen eines Linksabbiegestreifens in der Regel auch keine Fläche zur Realisierung eines iLES vorhanden.

Fußgänger und Radfahrer

Das Überqueren der übergeordneten Knotenpunktarme ist an Einmündungen ohne iLES einfach realisierbar, da die Fläche gegenüber dem Linksabbiegestreifen zur Verfügung steht. Der Einsatz eines iLES nimmt diese Fläche in Anspruch, sodass sich die Überquerbarkeit einer Einmündung mit iLES erheblich verschlechtert. Als Stellen für eine Überquerungsmöglichkeit kommt die Fläche vor dem Linksabbiegestreifen und die Fläche hinter dem Ende des iLES in Frage. Welche der beiden Möglichkeiten angeboten wird, ist im Einzelfall in Abhängigkeit von den Hauptquellen und -zielen zu entscheiden. In jedem Fall ist zu beachten, dass deutliche Umwege notwendig werden mit der Gefahr, dass regelwidrig im unmittelbaren Knotenpunktbereich überquert wird.

Der Einsatz eines iLES steht damit in Konkurrenz zu den Belangen von Fußgängern und Radfahrern. Sie sollten nur dann zum Einsatz kommen, wenn kein nennenswerter Überquerungsbedarf - insbesondere über die übergeordneten Knotenpunktarme - vorliegt.

Gestaltung des iLES

Die Funktion als Aufstellraum bewirkt bereits einen Großteil des Kapazitätswachses des iLES, hierfür ist nur eine geringe Länge erforderlich. Diese Mindestlänge ist erreicht, wenn sich das größte regelmäßig vorkommende Fahrzeug darin aufstellen kann, sie beträgt also in der Regel mindestens 20 m. Diese Mindestlänge sollte jedoch nur dann zum Einsatz kommen, wenn ein Beschleunigen aufgrund geringer Geschwindigkeiten und einer großen Zahl an ausreichenden Zeitlücken für das Einfahren in den durchgehenden Fahrstreifen unnötig ist. Innerhalb bebauter Gebiete sollte die Länge 30 bis 60 m betragen, im Vorfeld bebauter Gebiete bei Geschwindigkeiten über 50 km/h 60 bis 100 m. Zu große Längen sollten vermieden werden, um den Eindruck eines Überholfahrstreifens zu vermeiden.

Die Breite eines iLES sollten den Anforderungen eines Abbiegestreifens in der jeweiligen Situation entsprechen. Er sollte keinesfalls zu schmal ausgeführt werden, um nicht Einschränkungen bei der Nutzbarkeit oder eine verringerte Akzeptanz zu bewirken. Gegebenenfalls sollte die Befahrbarkeit für Lkw und Lastzüge mit Schleppkurven überprüft werden. Das Ende des iLES sollte so gestaltet werden, dass der Vorrang der Fahrzeuge auf dem Geradeausfahrstreifen deutlich bleibt, in der Regel also mit einer Markierung als endender Fahrstreifen und Sperrfläche.

Markierung

Bei der Markierung ist großer Wert darauf zu legen, dass das Begreifen der Verkehrsregelung unterstützt wird. Die wesentlichen Elemente sind im Folgenden beschrieben und in Abbildung 2 dargestellt:

- Markierung der annähernd dreieckigen Fläche zur rechten Führung der Linksabbieger und -einbieger und zur Abtrennung der Ab-/Einbiegestreifen vom durchgehenden Geradeausfahrstreifen.

Straßenentwurf

- Trennung von iLES und gleichgerichtet verlaufendem Geradeausfahrstreifen. Die Trennung sollte im vorderen Bereich als durchgehender Doppelstrich markiert werden und im hinteren Bereich als einseitig unterbrochener Doppelstrich.
- Trennung von iLES und Geradeausfahrstreifen in entgegengesetzter Richtung. Diese Trennung sollte als ununterbrochene Linie oder als ununterbrochene Doppellinie erfolgen. Das Ende des iLES ist so zu gestalten, dass die Richtungstrennung verdeutlicht wird und der iLES auf keinen Fall als Überholfahrstreifen für die Gegenrichtung genutzt wird.
- Wartelinie am Ende des Linksabbiegestreifens. Die Wartelinie soll als unterbrochener Querstrich markiert werden. Wichtig ist die Markierung als unterbrochene Linie, um dem Linkseinbieger nicht zu suggerieren, dass der Linksabbieger ihm gegenüber wartepflichtig sei. Die Wartelinie soll senkrecht zur Fahrtrichtung der Geradeausfahrstreifen erfolgen.
- Haltlinie in der untergeordneten Zufahrt (in Verbindung mit Zeichen 206 StVO). Die Haltlinie soll als durchgehender Querstrich markiert werden. Auf die Markierung einer Haltlinie darf auf keinen Fall verzichtet werden, um den Eindruck zu vermeiden, der Linkseinbiegerstrom sei anderen Strömen bevorrechtigt.
- Pfeilmarkierungen auf dem iLES. Auf dem iLES sollten Pfeile ("Richtungspfeile auf endenden Fahrstreifen" nach RMS) markiert werden, um zu verdeutlichen, dass der iLES endet.

Vertikale Elemente zur Trennung der Fahrtrichtungen erscheinen nicht notwendig und sollten aus gestalterischen Gründen vermieden werden.

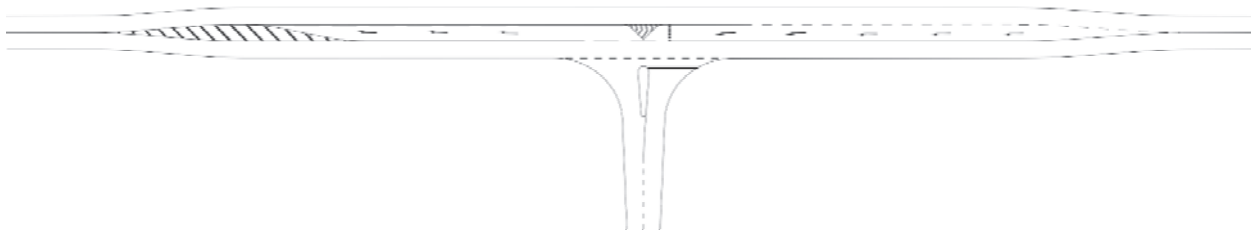


Bild 2: Vorschlag für die Markierung eines Knotenpunkts mit iLES im Vorfeld bebauter Gebiete (erfordert Zeichen 206 in der untergeordneten Zufahrt)

Beschilderung

Neben der üblichen StVO-Beschilderung und der wegweisenden Beschilderung sollten Schilder verwendet werden, die die Verkehrsregelung erläutern. Diese sollten sowohl in der untergeordneten Zufahrt eingesetzt werden, als auch in der rechtsliegenden, übergeordneten Zufahrt (Strom 8), da die Gefahr besteht, dass ein geradeaus fahrender Fahrer abrupt abbremst im Glauben, dass der Linkseinbieger ihm die Vorfahrt nehmen würde.

Vorschläge sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

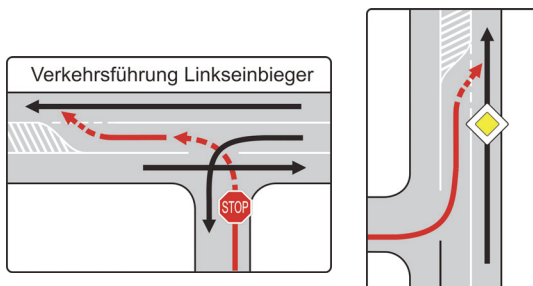


Bild 3: Vorschläge für ein Schild in der untergeordneten Zufahrt (Strom 4, links) und in der übergeordneten Zufahrt (Strom 8, rechts)