



Automatisches Nachführsystem für Mikrofone

Konzept zur Aufnahme sportartspezifischer Geräusche bei Live-TV-Sportproduktionen

Es wird ein Konzept zur Aufnahme der sportartspezifischen Geräusche bei Live-Sportproduktionen vorgestellt, das am IRT im Rahmen eines Trendscouting-Projekts erarbeitet wurde. Der Fokus war zunächst auf Fußball gerichtet und es wurde ein entsprechender Prototyp für erste Tests entwickelt, der auf einer automatischen Nachführung stark richtender Mikrofone durch schnelle und leise Remote-Heads basiert. Das System liefert am Ausgang ein bearbeitetes Audiosignal des Balls, das als „Feldgeräusch“ in die Tonmischung eingefügt werden kann. Im Beitrag wird ein allgemeiner Systemüberblick gegeben und die Funktionsweise vorgestellt.

A recording concept for sport-specific sounds in live TV sports production is described. The concept was developed at the IRT within the scope of a Trendscouting project. With a focus on football, a suitable system prototype was developed for initial evaluation. The concept is based on automatic tracking with highly directional microphones and low-noise motorized remote heads. The system delivers a processed audio signal of the ball that could be used as a „field noise“ component in the audio mix. In this article, a full overview of the developed system is given.

Einleitung

Die zunehmende Verbreitung des hochauflösenden Fernsehens schafft in Kombination mit dem 5.1-Mehrkanaltonformat auf der Zuschauerseite einen neuen technischen Standard, der mithilfe einer angepassten Produktionsinfrastruktur mit hochwertigem Inhalt gefüllt werden muss. Inzwischen werden Sportgroßveranstaltungen hauptsächlich in HD produziert und neue Kameraperspektiven sorgen gerade bei Sport-Liveproduktionen für ein neues Zuschauererlebnis. Die höhere Bildauflösung und die neuen Perspektiven verlangen durch die stärkere Darstellung von Details und die größere Nähe zum Spielgeschehen einen ebenso detailreichen Ton. Nur durch eine passende Kombination von Bild und Ton erhält der Zuschauer ein stimmiges, emotionsgeladenes Gesamtbild.

Die Tonaufnahme bei Sportveranstaltungen ist, vor allem bei Feldsportarten, einigen Schwierigkeiten unterworfen. So kann eine „nahe“ wirkende Abbildung der Spielgeräusche durch die oft großen Spielfeldabmessungen und den hohen Schalldruckpegel des diffusen Publikumsschalls sehr schwer erreicht werden. Besonders beim Fußball sind die Bedingungen extrem. Für die Gewinnung der Feldgeräusche werden derzeit mehrere Richtrohrmikrofone in einer Höhe von etwa 60 cm rund um das Spielfeld aufgestellt. Um das große Feld komplett abzudecken, werden typischerweise acht bis zwölf Mikrofone ver-

wendet. Durch die Ausrichtung auf das Spielfeld zeigen die Mikrofone jedoch auch immer auf das Publikum der gegenüberliegenden Seite. Um den zusätzlichen Direktschall des Publikums zu reduzieren, ist es notwendig, die Mikrofone während des Spiels ständig nachzupegeln. Ziel ist es, hauptsächlich das Mikrofon aufzuziehen, das sich gerade möglichst nahe am Ball befindet. Nur bei wichtigen Spielen wird dieser hohe Aufwand vom Toningenieur tatsächlich betrieben.

Ziel

Es wird ein am IRT entwickeltes Konzept vorgestellt, das eine verbesserte Tonaufnahme, insbesondere eine bessere Abbildung der Spielgeräusche des Balls auch bei einem normalen Produktionsbudget ermöglichen soll. Die Grundidee ist der Einsatz stark richtender Mikrofonsysteme, die durch eine mechanische Vorrichtung (Remote-Head) automatisch auf den Ball ausgerichtet werden. Diese Ausrichtung erfolgt durch eine Nachführung sowohl in

horizontaler als auch vertikaler Ebene. Der „Point of Interest“ (PoI), beim Fußball ist das die Position des Balls, sollte dabei wenn möglich automatisch bestimmt werden. Alternativ ist jedoch auch der Einsatz eines Bedieners (Operators) möglich. Die Signale mehrerer Mikrofone sollen bearbeitet und automatisch gepgelt werden, damit letztendlich ein fertiges „Effektsignal“ als Komponente für die anschließende Mischung mit Atmo und Kommentar zur Verfügung steht.

Als primäres Einsatzszenario wurde aufgrund der extremen Umgebungsbedingungen die Sportart Fußball gewählt. Hier sind die Spielfeldabmessungen besonders groß, ein Abhängen von Mikrofonen von oben ist nicht möglich und der vom Publikum verursachte Störschallpegel ist in großen Stadien extrem hoch. Das System wurde allerdings so generisch ausgelegt, dass eine Adaptierung an andere Sportarten relativ einfach möglich ist.

Technische Realisierung

Das Konzept wurde bereits teilweise in Form eines Prototypen umgesetzt und erste Tests im Berliner Olympiastadion, in der Münchner Allianz-Arena und in Unterhaching durchgeführt. **Bild 1** zeigt einen Überblick über das Gesamtsystem, so wie es im Berliner Olympiastadion zum Einsatz kam. Die einzelnen Komponenten werden nachfolgend näher erklärt.

Mikrofonauswahl

Essenziell ist die Auswahl eines geeigneten Mikrofons. Zwei Mikrofonsysteme haben sich bei Voruntersuchungen im Labor und in den Fußballstadien herauskristallisiert. Zum einen wurde eine Anordnung mit einem Parabolspiegel untersucht, in dessen akustischen Brennpunkt ein nach innen gerichtetes Mikrofon mit Nierencharakteristik befestigt wurde. Zum anderen wurde das Adaptive-Array-Mikrofon AT895 von Audio Technica, das bereits bei mehreren Olympischen Spielen, unter anderem auch beim Fußball, erfolgreich im Einsatz war, für einen Vergleich ausgewählt.

Nach Praxistests im Fußballstadion er-



Dipl.-Ing. (FH) **Hans Huber** befasste sich am IRT im Bereich Audiosystemtechnik mit dem Thema „Ton bei Sportproduktionen“



Dipl.-Ing. **Gerhard Stoll** leitet als Fachreferent am IRT im Bereich „Produktionssysteme Fernsehen“ unter anderem diverse Projekte zum Thema Multimedia und Mehrkanalton

Nach einem Vortrag von der 25. Tonmeistertagung des VDT in Leipzig (13. bis 16. November 2008)

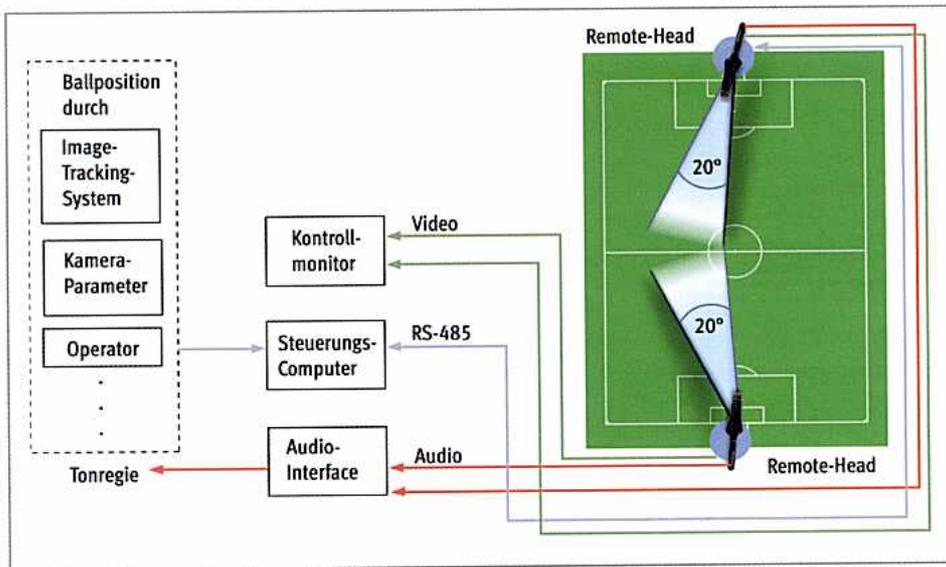


Bild 1. Systemübersicht

wies sich das AT895 als die bessere Lösung. Ein handhabbares Parabolmikrofon entfaltet aufgrund seiner geometrischen Abmessungen seine Richtwirkung nur bei mittleren und hohen Frequenzen, wobei das AT895 hingegen auch bei tiefen Frequenzen eine beachtliche Richtwirkung zeigt. Gerade dieser tiefe Frequenzbereich ist hierbei wichtig, da das typische Ballgeräusch bei etwa 150 Hz seinen maximalen Pegel hat und der Ball sehr unnatürlich klingt, wenn dieser Frequenzbereich fehlt. Auch die Faktoren Gewicht und Abmessung des AT895 erwiesen sich als wesentlich vorteilhafter für eine mechanische Nachführung. Ein weiterer Nachteil des Parabolspiegelmikrofons ergibt sich aufgrund seiner Empfindlichkeit gegen Windgeräusche.

Für die ersten Tests mit dem Prototyp wurde schließlich das AT895 ausgewählt. Das System funktioniert jedoch auch mit anderen Mikrofonen, solange diese eine entsprechend enge Richtcharakteristik aufweisen. Hierbei stellt sich eine starke Bedämpfung der Schalleinstrahlung von hinten als besonders wichtig heraus, da in den modernen Fußballarenen das Publikum direkt am Spielfeldrand sitzt.

Mechanische Nachführung

Der Vorteil der Mikrofonnachführung über Remote-Heads liegt darin, eine zuverlässige und hochgenaue Bewegung sowohl ohne Griffgeräusche, als auch automatisch, das heißt ohne Operator, zu realisieren. Dabei können die Remote-Heads auch an Stellen positioniert werden, an denen die Platzierung eines Operators nicht möglich ist. Ein weiterer Vorteil beim Einsatz mehrerer Mikrofone besteht darin, dass alle Remote-Heads mittels einer zen-

tralen Steuerung genau ausgerichtet werden können, ohne dass für jedes einzelne Mikrofon die Ausrichtung manuell bestimmt werden muss. Stattdessen wird lediglich der Ort über der Zeit festgelegt, auf den alle Mikrofone zu einem bestimmten Zeitpunkt zeigen sollen. Im Falle eines Fußballspiels kann die Bestimmung dieser Ortskoordinaten der Ballposition manuell durch einen einzigen Operator oder mittels optischem Balltracking sogar automatisch realisiert werden.

Die Anforderungen an die Remote-Heads sind anspruchsvoll, da sie, um dem Ball schnellstmöglich folgen zu können, ein hohes Drehmoment aufweisen müssen, trotzdem aber möglichst wenig Luft- und Körperschall auf das Mikrofon übertragen dürfen. Damit die Geräte in den Stadien oder Hallen möglichst flexibel positioniert werden können, müssen sie klein und leicht sein. Die Bewegung muss sowohl in der Pan- (horizontal) als auch in der Tilt-Achse (vertikal) möglich sein.

Der vom IRT entwickelte Prototyp besteht aus einer zentralen Steuereinheit und zwei Remote-Heads. Die horizontale und vertikale Bewegung dieser Remote-Heads wird durch bürstenlose Gleichstrom-Servomotoren mit eingebautem Encoder und integrierter Steuerelektronik durchgeführt. Diese übertragen diverse mechanische Komponenten, die hinsichtlich einer möglichst hohen Körperschallentkopplung optimiert wurden, ihr Drehmoment auf die Mikrofone übertragen. Die Kommunikation mit der zentralen Steuereinheit erfolgt über den RS-485-Bus. Damit können sowohl Positionsvorgaben für die Remote-Heads gegeben als auch die aktuelle Position zur Kontrolle der durchgeführten Bewegung ausgelesen werden. Zur schnellen und auto-

matischen Kalibrierung der Tilt-Achse ist ein elektronischer Neigungssensor angebracht. Zur Kalibrierung der Pan-Achse und zur optischen Kontrolle der Bewegung wird eine kleine und leichte Videokamera genutzt, die parallel zum Mikrofon an der gleichen Halterung befestigt ist. Gerade während der Testphase kann damit jederzeit die korrekte Funktionsweise der Ausrichtung optisch überprüft werden.

Mikrofonpositionierung

Insbesondere in offenen Stadien oder Arenen sollte die Position der Mikrofone so hoch wie möglich gewählt werden. Nur dadurch ist es möglich, durch eine entsprechend starke Neigung nach unten den Direktschall des Publikums aus der Haupteinflussrichtung des Mikrofons gering zu halten. Zugleich wird sichergestellt, dass sich kein Hindernis zwischen Mikrofon und Schallquelle befinden kann. Eine Aufstellung hinter dem Tor bedeutet eine Aufstellung symmetrisch zur Hauptspielachse und bietet den Vorteil, dass sich das Mikrofon in der Nähe der interessantesten Spielaktionen befindet.

Die ideale Position wurde aufgrund dieser Überlegungen hinter dem Tor auf einer Höhe von 6 bis 8 m festgelegt. Aus technischer Sicht funktioniert die Nachführung aber auch von jeder anderen Position aus, sodass eine Variation des Aufstellungsortes möglich ist. Unter Umständen ist eine Aufstellung nicht direkt hinter dem Tor, sondern hinter der verlängerten Torauslinie genau zwischen Tor und verlängertem Spielfeldrand der Längsseite sogar vorzuziehen, da damit zwei Umständen besser Rechnung getragen wird: Zum einen steht der Remote-Head den Kameras, die sich oberhalb hinter dem Tor befinden und einen zentralen Blick entlang der Längsseite auf das Spielfeld liefern, nicht mehr im Weg. Und zum anderen werden die Spielgeräusche, die auf der Seite der Führungskamera stattfinden und somit subjektiv dem Zuschauer als näher erscheinen, lauter wiedergegeben. Dieser Umstand fördert subjektiv die Bildbezogenheit des Tons.

Bei den ersten Versuchen wurden jeweils zwei Remote-Heads in dieser Aufstellung platziert. Damit ist insbesondere der Torbereich akustisch sehr gut abgedeckt, das Mittelfeld jedoch nicht mehr so gut. Sollte sich bei weiteren Versuchen herausstellen, dass die Abdeckung im Mittelfeld nicht ausreichend ist, wäre es möglich, in diesem Bereich einen weiteren Remote-Head in einer Höhe von etwa 60 cm zu platzieren. Damit ist eine Sichtbe-



Bild 2. Benutzeroberfläche der Steuerungssoftware

hinderung der Zuschauer durch diesen dritten Remote-Head, der nur in der Horizontalen nachgeführt werden muss, sowohl im Stadion als auch im Fernsehen ausgeschlossen.

Erfassung der Ballkoordinaten

Für die Nachführung des Mikrofons benötigt die zentrale Steuereinheit als Steuergröße aktuell zu jeder Zeit die Koordinaten des „Point of Interest“ (Pol), auf den es die Mikrofone ausrichten muss. Beim Fußball sind es die Ballkoordinaten, die der Steuereinheit zur Verfügung gestellt werden müssen.

Um zusätzliches Personal für die Nachführung der Mikrofone zu vermeiden, ist eine Anbindung an ein vorhandenes Balltracking-System notwendig, das bereits vielfach bei Fußballspielen zur Erfassung statistischer Daten des aktuellen Spiels, wie zum Beispiel Laufpensum und Anzahl der Ballkontakte der einzelnen Spieler, eingesetzt wird. In diesem Falle wäre dann eine vollautomatische Nachführung möglich.

Da die aktuellen Ortskoordinaten des Balls in Echtzeit benötigt werden, erfordert das jedoch eine Anpassung der Latenz an die Ausgabe dieser Koordinaten. Nachdem für die statistische Erfassung der automatisch generierten Daten keine strikte Echtzeitbedingung besteht, sind die Trackingverfahren, so wie sie heute bei Fußballspielen eingesetzt werden, nicht auf Echtzeit, sondern auf eine möglichst hohe Zuverlässigkeit der statistischen Daten abgestimmt. Eine Anpassung des Tracking-Algorithmus an die Echtzeiterfassung ist zwar möglich, erfordert aber eine entsprechende Optimierung der Parameter Echtzeitverhalten, Genauigkeit und Fehlerverschleierung im Falle von Fehlinterpretationen.

Alternativ ist natürlich auch eine Erfassung der Ballposition mithilfe eines Operators möglich, der mittels eines geeigneten Eingabegerätes, wie zum Beispiel einer Maus, dem Ball des Videobildes einer fest montierten Kamera folgt, die das komplette Spielfeld auf einem Computermonitor darstellt. Erste Versuche haben hierbei ergeben, dass die Position

der Führungskameras für diese festmontierte und vor dem Spiel eingerichtete Kamera einen idealen Ort darstellt.

Weitere Alternativen bestehen in der Auswertung der Schwenk-, Neige-, Zoom- und Fokusparameter der Führungskameras. Diese Parameter können die Koordinaten für den Pol in Echtzeit und ohne zusätzlichen personellen Aufwand liefern. Untersuchungen über die Genauigkeit dieser Parameter zur Schätzung der aktuellen Ballkoordinaten bzw. Koordinaten des Pol stehen noch aus. Eine entsprechende Verarbeitung dieser Parameter könnte bei vielen Sportarten eine einfache Lösung darstellen.

Steuerungssoftware

Die Hauptaufgabe der Steuerungssoftware besteht in der Umsetzung der erfassten Ballkoordinaten in entsprechende Stellgrößen für die einzelnen Remote-Head-Motoren. Da eine verzögerungsfreie Nachführung erforderlich ist, muss die Systemlatenz, also die Differenz zwischen dem Zeitpunkt, an dem sich der Ball an einer bestimmten Position befindet, und dem Zeitpunkt, zu dem die Motoren ihre Position erreicht haben und das Mikrofon auf die Position des Balles gerichtet ist, ausgeglichen werden. Das geschieht mithilfe einer Bewegungsvorhersage.

Einen entscheidenden Einfluss auf die Latenz hat auch die Schalllaufzeit. Da die Schallwellen je nach Ballposition unterschiedlich lange zum Mikrofon unterwegs sind, muss die Nachführung abhängig von der Distanz des Balls vom Mikrofon durch einen variablen zeitlichen Versatz verzögert werden. Damit wird sichergestellt, dass das Mikrofon in die Richtung zeigt, aus der der Schall kommt, auch wenn der Ball zu diesem Zeitpunkt schon eine ganz andere Position eingenommen hat. Eine weitere Funktion sorgt für eine Begrenzung der einstellbaren Winkel auf die Abmessungen des Spielfelds. Sie bewirkt, dass die Mikrofone nur auf Ziele innerhalb des Spielfelds und niemals auf die Zuschauer-ränge ausgerichtet sein können.

Bild 2 zeigt die Benutzeroberfläche der Steuerungssoftware. Hier werden neben Statusinformationen die erfassten Eingangskordinaten visualisiert, Informationen über die Remote-Heads und deren Ausrichtung sowie der Grad der Verstärkung der beiden Mikrofone dargestellt.

Für die Remote-Heads kann eine Funktion zur Kalibrierung aufgerufen werden, um die beiden Achsen nach dem Einschalten des Systems in eine definierte Position zu bringen. Diese Kalibrierung ist ein grundsätzlicher Bestandteil des Systemsetups. Auf der linken Seite kann neben der Schalllaufzeitkompensation und der Kompensation für die Systemlatenz auch die automatische Pegelstellung aktiviert werden. Sie bewirkt, dass die Verstärkung beider Mikrofone abhängig von der Ballposition gesteuert wird. Damit ist es möglich, immer nur das Mikrofon offen zu haben, auf dessen Seite bzw. in dessen Nähe sich der Ball befindet. An der Mittellinie findet eine Überblendung statt.

Eine spezielle Option der Steuerungssoftware ermöglicht die Aufzeichnung der Koordinaten über der Zeit in eine Datei.

Signalbearbeitung

Neben der automatischen Pegelstellung in Abhängigkeit der Ballposition findet in der Kontrolleinheit noch eine weitere Signalverarbeitung der Mikrofonsignale statt.

Da die charakteristischen Frequenzen des Ballkicks, das heißt die dominanten Spektralanteile, in den beiden Bereichen von etwa 150 Hz und 6 kHz liegen, können diese Frequenzen etwas angehoben und der dazwischenliegende Bereich, der als Dominanzbereich für die menschliche Sprache gilt, breitbandig abgesenkt werden. Durch diese Filterung erreicht man eine bessere akustische Trennung von Ballgeräusch und Publikum.

Die aufgrund der Filterung leicht entstehende Verfremdung des Ballgeräuschs ist nur dann wahrzunehmen, wenn es als isoliertes Tonsignal abgehört wird. In der Mischung mit der Atmo verbindet sich das so



Bild 3. Mikrofonsystem beim Einsatz im Berliner Olympiastadion

prozessierte Ballgeräusch mit den Publikumsgeräuschen zu einem harmonischen Gesamteindruck. Somit steht am Ausgang wahlweise ein Mono- oder Stereosignal zur Verfügung, das im Wesentlichen die Ballgeräusche als Komponente für die Mischung anbietet. Sowohl die Pegelkorrektur als auch die Tonbearbeitung können optional ausgeschaltet werden.

Erste Testaufnahmen

Ein erster Praxistest des kompletten Systems fand beim Länderspiel Deutschland gegen England (November 2008) im Berliner Olympiastadion statt. Die Bestimmung der Ballposition erfolgte durch einen Operator. Dazu wurde auf einem Computermonitor ein Bild des kompletten Spielfelds von einer festen Kameraposition aus dargestellt. Mithilfe einer Maus konnten der Ball nachverfolgt und damit die Koordinaten des Balls ausreichend genau bestimmt werden. Die Nachführung sorgte dafür, dass das Mikrophon zuverlässig auf den Ball ausgerichtet war, was man mithilfe der beiden an den Remote-Heads angebrachten Kameras beobachten konnte. **Bild 3** zeigt einen der beiden Remote-Heads am Spielfeldrand.

Ein offener Punkt blieb die Signalbearbeitung der beiden Mikrofonsignale. Diese muss

in einem nächsten Schritt optimiert werden. Eine optimale Feineinstellung der Filterparameter kann nur im realen Stadionumfeld stattfinden. Hier sind deshalb noch weitere Tests notwendig.

Ausblick

Während der letzten Jahre hat die Qualität der Bildproduktion bei Sportgroßveranstaltungen erheblich zugenommen. Gute Beispiele sind die Bildübertragungen von den Olympischen Sommerspielen und Übertragungen von Skispringen, wo immer neue Kamerapositionen besetzt werden, die spannende Bilder vermitteln. Durch die Einführung von HDTV wird dieser Trend verstärkt, da es dem Zuschauer möglich ist, wesentlich mehr Details in den Bildern zu erkennen und er somit näher und direkter in das eigentliche Geschehen eingebunden wird.

Dem Trend einer besseren Bilddarstellung wird der Ton folgen. Auch hierbei gibt es hervorragende Beispiele, wie zum Beispiel vom Bobfahren während der Winterspiele in Turin oder der letzten Sommerspiele in Peking. Ein Beispiel für die Tondarstellung bei Hallensportarten lieferte Ende 2008 HD-Suisse mit den Übertragungen vom Spengler-Cup (Eishockey) in Davos, die von tpc produziert worden sind. Bei den Übertragungen der ein-

zelnen Spiele des Spengler-Cups wurden sowohl die Atmosphäre der ausverkauften Halle mit tobendem Publikum als auch die Spielgeräusche des Spiels selbst in eindrucksvoller und bester Übereinstimmung mit dem Bild wiedergegeben. Eine solche Tondarstellung ist auch bei anderen Sportarten wünschenswert, insbesondere bei Großveranstaltungen, da man auf eine gute Bildproduktion großen Wert legt.

Die Tests in der Münchner Allianz-Arena und im Berliner Olympiastadion haben das Potenzial der Idee zur Verbesserung der Tondarstellung von Ballgeräuschen mithilfe einer automatisierten Nachführung von stark richtenden Mikrofonen aufgezeigt. Aufgrund der generischen Architektur ist das Nachführsystem jedoch nicht auf die Anwendung beim Fußball beschränkt. Eine Anwendung ist auch bei anderen Sportarten denkbar, die eine nahe Mikrofonierung nicht erlauben. Vorstellbar wäre beispielsweise eine Anwendung bei Skiabfahrtslauf, Skispringen, Springreiten, American Football usw. Auch ein Einsatz bei Hallensportarten (Eisschnelllauf) ist prinzipiell denkbar.

Kritisch ist bei allen Sportarten die Erfassung des Point of Interests (PoI), auf den die Mikrofone verzögerungsfrei ausgerichtet werden müssen. Der Einsatz eines Operators ist im Prinzip immer möglich. Um zusätzliche Kosten zu sparen, ist einer automatisierten Nachführung des Mikrofonsystems durch Kamerabild-basiertes Tracking des PoI, das heißt im Falle von Fußball des Balls, der Vorzug zu geben. Eine automatisierte Erfassung des PoI kann bei vielen Sportarten realisiert werden. Im Eishockey gab es beispielsweise schon vor etwa zehn Jahren ein System, das die Position des Pucks anhand eines eingebauten Transponders bestimmen konnte. Abhängig von der Sportart ist ein Video-Tracking-System vorzuziehen. So ist es zum Beispiel derzeit nicht möglich, einen Sensor zur Ortsbestimmung in einen Ball einzubauen, da man sich nicht sicher sein kann, dass die Ball-eigenschaften bzw. Flugeigenschaften des Balls verändert werden.

Schlussbemerkung

Nach abschließenden Versuchen zu einer möglichst automatisierten Erfassung der Ballposition, alternativen Richtmikrofonen und der optimalen Auslegung einer geeigneten Filterung der Mikrofonsignale steht einem Einsatz dieser Technologie zur Verbesserung und automatisierten Unterstützung der Tonproduktion in der Zukunft nichts mehr entgegen.