

Der Wandel im Glas

Veränderungen im Produktionsalltag aufgrund der Einführung moderner Glasfasertechnologien

Martin Holovlasky

martin.holovlasky@gmx.at

Zusammenfassung

Die mit der Produktion von HD-Videosignalen angestoßene Einführung von Glasfaserleitungen bringt zunehmend einen gänzlichen Wandel des Produktionsalltages mit sich.

Einerseits eröffnen sich für Produzenten und Dienstleister vollkommen neue Wege und Dimensionen zur Realisierung immer beeindruckenderer Bilder, die sowohl in wirtschaftlichen wie auch technischen Faktoren ihre Grundlage haben.

Andererseits bedingt die zunehmende Integration verschiedenster Signale und Formate in Echtzeitglasfasersysteme den Einsatz neuer Spezialisten, die Department-übergreifende Fachkenntnisse aufweisen müssen, um so die Schnittstellen zu allen an der Produktion beteiligten Gewerken bereitstellen zu können.

Klassische Rollenbilder wie Ton-, Bild oder IT-Techniker verschwimmen zum „Glasfasertechniker“, der über fundierte Grundkenntnisse in allen Bereichen verfügen muss.

Diese Allround-Spezialisten gewinnen zunehmend an Bedeutung in der internationalen Medienbranche, da auf ihren Schultern in einem bisher unbekanntem Maße die Produktionsverantwortung lastet.

1 Einleitung

Die rasanten technologischen Entwicklungen der letzten Jahre haben nachhaltige Veränderungen im Produktionsalltag nach sich gezogen.

Dies beruht vorwiegend auf den Fortschritten in zwei Bereichen. Einerseits ist aufgrund neuer Forschungsergebnisse zunehmend möglich, immer größere Datenmengen über Glasfasern zu übertragen. Andererseits fallen aufgrund neuer Produktionstechnologien (als Beispiel sei hier der Umstieg von

SD- auf HD-Video als Produktionsformat genannt) immer größere Datenmengen an, welche in Echtzeit übertragen werden müssen.

Darüber hinaus ist weiterhin ein allgemeiner Trend zu immer größeren und komplexeren Umsetzungen bisheriger und neuer Formate zu erkennen, welche auch eine zunehmend steigende Anzahl hoch qualitativer Signale nach sich ziehen, welche übertragen und verarbeitet werden müssen.

Wie bei allen technologischen Neuerungen bedingt auch die zunehmende Einführung von Glasfasersystemen neue Prozesse und Spezialisten. Diese agieren im konkreten Fall jedoch nicht am Rande der bisher bekannten Strukturen, sondern wurden umgehend zu zentralen, verbindenden Elementen zwischen allen Gewerken.

2 Technologische Grundlagen

2.1 Entwicklung der Lichtwellenleitertechnik

Die Entwicklungsgeschichte der Lichtwellenleitertechnik führt zurück bis John Tyndall, welcher bereits 1870 nachwies, dass sich Licht in einem Wasserstrahl leiten lässt.

Jedoch erst durch die Entwicklung des Lasers Mitte des 20sten Jahrhunderts wurde die Grundlage für heutige Glasfasertechnologien geschaffen.

Bereits im Jahre 1966 wurde vorgeschlagen, Lichtwellenleiter zur Übertragung in der Kommunikationstechnik einzusetzen. Die damals zu Verfügung stehenden Glasfasern besaßen jedoch noch so hohe Dämpfungswerte, dass die Praxistauglichkeit noch lange nicht gegeben war. Die damaligen Dämpfungswerte waren denen von Kupferleitungen bei weitem unterlegen. Erst durch umfassende Weiterentwicklungen wurden die Dämpfungswerte derart verbessert, dass heute die Übertragung mehrerer Terabit/s über große Distanzen möglich sind.

In der Weitverkehrskommunikation werden heutzutage beinahe ausschließlich Lichtwellenleiter eingesetzt. Durch den rasanten Anstieg der Nutzung von Lichtwellenleitern, die technologische Entwicklung und den damit verbundenen Preisverfall dringt die Lichtwellenleitertechnik in immer mehr Bereiche der Signal- und Datenübertragung ein.

Aufgrund der Empfindlichkeit der Lichtwellenleiter sowie vor allem der Steckverbinder kamen Lichtwellenleiter bisher vorwiegend in Festinstalltionen zum Einsatz. Erst seitdem sich die Stabilität der Glasfaserkabel sowie die

Unempfindlichkeit von Steckern gegenüber Staub und Schmutz entschieden verbessert hatte, kommen diese auch bei mobilen Anwendungen zum Einsatz.

2.2 Technik der Lichtwellenleiter

2.2.1 Aufbau eines Lichtwellenleiters

Der allgemein gebräuchliche Begriff der „Glasfaser“ ist etwas verwirrend und technisch unkorrekt. Tatsächlich sind Lichtwellenleiter aus Kostengründen sowie Gründen der Praktikabilität zumeist aus Kunststoff hergestellt.

Im einfachsten Fall setzt sich ein Lichtwellenleiter aus einem Kern sowie einem Mantel zusammen. Die eigentliche Übertragung findet ausschließlich im Kern statt, wobei der Mantel jedoch einen entscheidenden Einfluss auf die Übertragungsqualität eines Lichtwellenleiters hat, wie im nächsten Abschnitt zu sehen ist.

Der Mantel ist jedoch nicht mit dem Kabelmantel zu verwechseln. Während die Aufgabe des Kabelmantels der physikalische Schutz der eigentlichen Faser ist, ist der Fasermantel integraler Bestandteil der Faser.

Die „Glasfaser“, wie sie im umgangssprachlichen Gebrauch bekannt ist, setzt sich für gewöhnlich aus vier Schichten zusammen. Die inneren beiden Schichten dienen der eigentlichen Lichtausbreitung, wobei sich das Licht im Innersten, im Kern, ausbreitet und an der zweiten Schicht, dem Mantel¹ (bzw. genauer der Grenzfläche zwischen Kern und Mantel) reflektiert wird. Die äußeren beiden Schichten dienen dem Schutz der Faser. Den Mantel umgibt zumeist ein Fasergeflecht, das sicherstellt, dass zwischen Kabelmantel und den übertragenden Medien keine feste Verbindung besteht, um Zug- und Drehkräfte nicht unmittelbar auf die optischen Elemente wirken zu lassen. Ebenso stellt die dritte Schicht einen Schutz gegen Zugkräfte dar. Längenänderungen wirken sich sehr nachteilig auf die Ausbreitungseigenschaften von Lichtwellenleitern aus. Die äußerste Schicht schließlich schützt das innere Konstrukt vor mechanischen Einflüssen von außen und wird je nach Einsatzzweck aus verschiedenen Kunststoffen hergestellt.

Der immer besser werdende Schutz gegen mechanische Einflüsse war einer der bedeutendsten Faktoren, die zur Einführung von Lichtwellenleitern bei mobilen Produktionen geführt hat.

¹ Engl.: primary coating

2.2.2 Ausbreitungsgrundlagen

Die Ausbreitung des Lichts in einem Lichtwellenleiter geschieht mittels Brechung und Totalreflexion. Die Totalreflexion ist ein Sonderfall der Brechung und Reflexion an einer Grenzfläche. Von einer Totalreflexion spricht man, wenn ein Lichtstrahl zur Gänze an der Grenzfläche zwischen einem optisch dichterem und einem optisch dünnerem Medium reflektiert wird. Der hierfür notwendige Winkel ergibt sich aus dem Brechungsgesetz². Von einer Totalreflexion spricht man, wenn der Einfallswinkel größer als der Grenzwinkel ist. Im Falle von Glas (als leitendes Medium) und Luft (als umgebendes Medium) müsste der Einfallswinkel des Lichtes mehr als 41,8 Grad betragen, um eine Totalreflexion zu erreichen.

Auf Basis des Brechungsgesetzes kann eine Totalreflexion nur stattfinden, wenn die Brechzahl des Mantels kleiner ist als die Brechzahl des Kernmaterials.

Die Brechzahl ist nicht nur vom Material, sondern auch von der Wellenlänge abhängig, und stellt einen entscheidenden Parameter zur Beurteilung der Qualität eines Lichtwellenleiters dar. Da in der modernen Lichtwellenleitertechnik verschiedene Wellenlängen gleichzeitig zur Datenübertragung eingesetzt werden, spricht man von der sogenannten Gruppenbrechzahl, die sich auf ein Mittel der Brechzahlen der Wellenlängen, für die die Faser entwickelt wurde, bezieht.

Ein anderer entscheidender Parameter ist der sogenannte Akzeptanzwinkel. Dieser bezeichnet den sich aus dem Brechungsgesetz und den Brechzahlen von Mantel und Kern ergebenden maximalen Winkel, in dem Lichtstrahlen in die Faser eingekoppelt werden können und innerhalb der Faser noch der Totalreflexion unterliegen. Zumeist wird von Herstellern jedoch nicht der Akzeptanzwinkel selbst, sondern die sogenannte numerische Apertur angegeben. Dies ist ein Maß für den Brechungsunterschied zwischen Kern und Mantel (dieser liegt bei Multimodefasern zwischen 0,2 und 0,3, bei Monomodefasern um 0,1).

Von den beiden oben genannten Parametern hängt, neben anderen, maßgeblich ab, welche Datenraten auf einer Faser erzielt werden können.

2.2.3 Fasertypen

Technisch unterscheidet man zwei Fasertypen: die Stufenprofilfaser und die Gradientenfaser.

² $\theta_G = \arcsin(n_1/n_2)$ (n_1/n_2 stehen für die Brechzahlen der Medien)

Bei Stufenprofilfasern ist die Kernbrechzahl über den gesamten Faserquerschnitt konstant. Folglich legt ein in einem Winkel ungleich null Grad eingekoppelter Lichtimpuls einen weiteren Weg als ein achsenparalleler Strahl zurück. Vernachlässigt man die stärkere Dämpfung aufgrund des längeren Weges (was aufgrund der geringen Wegunterschiede möglich ist), bleibt der Lichtimpuls gleich; es können jedoch Laufzeitunterschiede auftreten, welche zu Phasenverschiebungen und somit zu Verzerrungen der Impulse führen können.

Um dem entgegenzuwirken, werden sogenannte Gradientenfasern genutzt, deren Brechzahl vom Kernmittelpunkt zum Rand hin abnimmt. Beim Durchlaufen der Faser werden Lichtstrahlen, wenn sie vom Kern weg Richtung Mantel laufen, zunehmend vom Lot weg gebrochen. Umgekehrt wird beim Durchlaufen Richtung Kernmitte zunehmend zum Lot hin gebrochen. Daraus ergibt sich eine wellenförmige Ausbreitung, wobei der Lichtstrahl in den Außenbereichen des Kerns schneller läuft als in der Kernmitte. Dadurch werden die Laufzeitunterschiede kompensiert. Dies ist vor allem bei Multimodefasern von entscheidender Bedeutung.

Aufgrund der Ausbreitungseigenschaften der Lichtimpulse unterscheidet man Multimode- und Monomodefasern³:

- Aufgrund ihres verhältnismäßig großen Durchmessers des Faserkerns (bezogen auf die Wellenlänge) können sich in Multimodefasern mehrere Moden eines Lichtimpulses ausbreiten, was am Faserausgang zu einer Vielzahl Lichtimpulse führt. Hier würden sich Laufzeitunterschiede der einzelnen Moden verheerend auf die Datensignale auswirken.
- Monomodefasern hingegen haben einen sehr kleinen Kerndurchmesser, wodurch sich nur die Grundmode eines Lichtimpulses ausbreiten kann. Am Faserausgang liegt folglich ebenso nur die eingangs eingekoppelte Mode an.

Die Güte der am Faserausgang anliegenden Lichtimpulse entscheidet maßgeblich über die maximal erzielbare Datenrate.

2.3 Steckverbinder

Entscheidenden Einfluss auf die Nutzbarkeit eines Lichtwellenleiters hat die Qualität der Steckverbindungen, welche zum Verbinden von Fasern untereinander oder der Faser mit Endgeräten aufweisen.

³ umgangssprachlich bzw. engl.: Singlemodefaser

Gerade bei mobilen Anwendungen sind die Steckverbinder der limitierende Faktor, da sie im Feld kaum – oder wenn, dann nur mit hohem Aufwand – erneuert werden können bzw. sehr fehleranfällig sind.

Historisch hat sich nie eine einheitliche Steckertypen durchgesetzt, sodass beinahe jeder Hersteller auf eigene Steckertypen setzt, was zu einem unglaublichen Wildwuchs geführt hat. Es existieren weit über 20 verschiedene Steckertypen, die in den meisten Fällen sowohl mit geradem als auch Schrägschliff sowie für Monomod- wie auch Multimodefasern erhältlich sind. Verwechslungen und die damit verbundenen Probleme sind somit vorprogrammiert.

Bei mobilen Anwendungen setzen sich zunehmend sogenannte Linsenstecker durch. Diese verfügen über Linsen im Steckverbinder, die den Lichtstrahl am Ausgang aufweiten bzw. am Eingang bündeln. Da jedoch nur die wenigsten Endgeräte über Linsenstecker verfügen, sind zusätzliche Adapter und Patchleitungen notwendig, die wiederum potenzielle Fehlerstellen darstellen.

Dennoch ist bei der Handhabung vor Ort größtmögliche Vorsicht geboten, um den Produktionserfolg sicherzustellen und Ausfälle aufgrund von Verschmutzungen oder zerkratzten optischen Elementen zu vermeiden. Spezielles Reinigungsmaterial ist unerlässlicher Bestandteil jeder modernen Produktionsausstattung.

2.4 Vor- und Nachteile von Glasfasern

Vorteile:

- hohe Datenübertragungskapazitäten
- geringe Dämpfungswerte auf lange Distanzen
- Unanfälligkeit gegen elektrostatische und elektromagnetische Störungen
- hohe Abhörsicherheit

Nachteile:

- hohe Kosten
- schwer im Feld konfektionier- bzw. reparierbar
- mechanische Empfindlichkeit
- schwierige Messbarkeit der Signale

3 Einsatz im Produktionsalltag

Aufgrund der eingangs erwähnten Nachteile und Schwierigkeiten von Lichtwellenleitern haben diese sich nur sehr zögerlich im Bereich der mobilen Produktionen durchgesetzt.

Darüber hinaus existiert einerseits eine große Zahl von Endgeräten für alle Bereiche des Produktionswesens, andererseits greifen diese zumeist jeweils auf eine oder zwei Glasfasern zurück, ohne diese jedoch in ihrer vollen Kapazität auszunutzen. In Folge dessen wird zur Abdeckung des durchschnittlichen Produktionsumfanges eine sehr große Anzahl Fasern benötigt, was einen entsprechenden Aufwand bedingt.

Erst durch die Entwicklung komplexer Multiplexsysteme konnte eine effiziente Ausnutzung einer wesentlich geringeren Anzahl Fasern erzielt werden.

3.1 Unterscheidung der Endgeräte

3.1.1 elektrisch-optische Wandler

Die ersten auf dem Markt befindlichen LWL-Endgeräte waren und sind reine elektrisch-optische Wandler, bei denen das anliegende elektrische Signal in optische Impulse umgewandelt wird. Es erfolgt hier keinerlei Beeinflussung des Signals. Andererseits kann auch nicht in das Signal eingegriffen werden.

In späteren Generationen dieser Geräte konnten einige rudimentäre Funktionen wie embedding und deembedding ausgeführt werden.

Gemein ist diesen Geräten, dass für jeweils ein Signal eine Faser benötigt wird. Da die höchsten derzeit auftretenden Datenraten um 1,5 Gbit/s (für ein HD-Video) bzw. 3 Gbit/s (für ein 1080p-Signal oder 3D-Video) liegen, die Kapazitätsgrenzen einer Faser heute jedoch rein rechnerisch bis zu 100 Tbit/s betragen, wird hier viel Bandbreite nicht genutzt.

Der Vorteil an diesen Systemen ist, dass jedes Gewerk auf seine eigenen Endgeräte zurückgreift und diese selbstständig verwaltet. Nachteilig sind der hohe Faserbedarf sowie die große Anzahl kleiner Endgeräte und der damit verbundene größere Aufwand.

3.1.2 optische Multiplexsysteme

Um den oben genannten Nachteilen entgegenzuwirken und eine effizientere Auslastung der Fasern zu erreichen, werden optische Multiplexsysteme ein-

gesetzt. Hierbei werden auf einer Faser Signale verschiedener Wellenlängen übertragen.

Durch diesen rein passiven Schritt kommt es bereits zur Notwendigkeit der Koordinierung der Gewerke, da diese erstmals auf die gleichen Leitungen zurückgreifen müssen.

Heute ist es mit marktüblichen Geräten möglich, etwa 18 verschiedene Wellenlängen gleichzeitig auf eine Faser aufzumodulieren. Dies bedingt jedoch sorgfältige Planung durch einen Spezialisten sowie die Verfügbarkeit – zum Teil recht teurer – Lichtwellenleiterelemente.

Das optische Multiplexing erfolgt mittels hoch präziser Prismen, bei deren Umgang entsprechende Vorsicht geboten ist.

3.1.3 Multiplexsysteme

Seit wenigen Jahren stehen verschiedene Systeme zur Verfügung, die sowohl optisches wie auch elektrisches bzw. Signalmultiplexing betreiben. Hierdurch werden die zur Verfügung stehenden Bandbreiten weitestgehend im Rahmen der derzeitigen technischen Grenzen ausgenutzt.

Darüber hinaus stehen viele zusätzliche Funktionen wie embedding/de-embedding, automatisches Rerouting, Verteilung, uvm. zur Verfügung.

Bei diesen Systemen kann man die Unterscheidung in solche, die proprietäre Protokolle zur Signalverwaltung und -Übertragung nutzen, und solche, die auf standardisierte Protokolle, zumeist Telekom-Weitverkehrsprotokolle, setzen, treffen.

Diese Systeme vereinen die Signaltypen verschiedener Gewerke und bedingen sorgfältige Planung und die Bedienung durch Fachpersonal.

3.2 Einfluss auf den Produktionsalltag

Die unter 3.1.3 beschriebenen Systeme haben im Produktionsalltag entscheidenden Vorteile und können die Effizienz aller Gewerke nachhaltig steigern.

Dies setzt jedoch einen gravierenden Umdenkprozess sowie Neustrukturierungen gewohnter Prozesse voraus. Durch die zunehmende Integration aller Gewerke in gemeinsame Lichtwellenleiter-Systeme ist eine enge Interaktion verschiedener Spezialisten, die bisher über weite Strecken parallel arbeiten konnten, notwendig. Ähnlich wie bei der Einführung von Embedded-Audio-Signalen erstmals Schnittstellen zwischen Ton und Bild geschaffen werden mussten, erweitert sich dies nun auf alle Gewerke.

Lichtwellenleiter werden heutzutage nicht nur von Bild- und Tontechnikern genutzt, sondern auch von IT, Licht, Zeitnehmung, uvm.

Dies hat einige Faktoren zur Folge, denen in der Planung entscheidende Aufmerksamkeit geschenkt werden muss. Durch die zunehmende Integration unterschiedlicher Gewerke kommt den LWL-Systemen zunehmend produktionsbeeinflussende Bedeutung zu: einerseits, weil beim Ausfall eines Systems eine große Zahl Signale gleichzeitig verloren geht, und andererseits, weil die Verwaltung der unterschiedlichen Signale verschiedener Gewerke durch eine zentrale, den anderen Gewerken über geordnete Stelle erfolgt, die in der Form bisher nicht existierte.

3.2.1 Planung

Bereits in der Planungsphase ist LWL-Systemen mehr Aufmerksamkeit zu schenken als bisherigen Signalübertragungskonzepten.

Bisher hat jedes Gewerk seinen eigenen Signalaufwand berechnet und die dafür benötigten Ressourcen bereitgestellt. Nunmehr ist es notwendig, dass sich die Gewerke im Vorfeld abstimmen, um die in den Lichtwellenleitersystemen zur Verfügung stehenden Ressourcen effektiv zu nutzen. Weiters müssen die notwendigen Endgeräte bereitgestellt werden. Diese werden nun zumeist in einem gemeinsamen Lager bzw. Materialpool verwaltet und sind nicht mehr einem bestimmten Gewerk zugeordnet, was sowohl administrative wie auch budgetäre Herausforderungen an alle Beteiligten stellt.

Auch aufgrund des oben genannten Umstandes, dass Leitungen nur mit großem Aufwand im Feld konfektioniert werden können bzw. im Schadensfall ausreichend Überkapazitäten vorgehalten werden müssen, bedarf es einer sorgfältigen Planung im Vorfeld. Da die meisten modernen LWL-Endgeräte im Schadensfall ein automatisches switch over auf Backupfasern anbieten, müssen für diesen Fall entsprechende Kapazitäten bereit stehen.

Durch die Vorteile von Glasfasern sind vollkommen neue Produktionskonzepte denkbar, da wesentlich größere Distanzen mit wesentlich mehr Signalen abgedeckt werden können. Dem Spielraum für Kreative sind somit kaum noch Grenzen gesetzt. Komplexere Produktionskonzepte bedingen aber natürlich auch einen wesentlich höheren Gesamtaufwand.

3.2.2 Verwaltung

Die wohl entscheidendste Neuerung ist jedoch die zentrale Verwaltung der unterschiedlichen Signale der verschiedenen Gewerke. In den meisten Fällen haben nicht mehr die einzelnen Departments die volle Hoheitsgewalt über

ihre Signale, was nicht unbedingt zu einer positiven Grundeinstellung gegenüber diesen Systemen geführt hat. Gerade in alteingesessenen Betrieben ist das Misstrauen der einzelnen Gewerke untereinander geradezu traditionsbedingt. Dies bringt in den meisten Fällen eine gewisse Skepsis gegenüber entsprechenden Neuerungen mit sich.

In der Folge kam es zur Schaffung neuer Arbeitsplätze, deren primäre Aufgabe die Planung und Verwaltung der LWL-Endgeräte darstellt. Diese operieren außerhalb gewohnter Strukturen und müssen über ein solides Grundwissen in beinahe allen Bereichen verfügen. Aus diesem Grund fiel die Verwaltung der faserbasierten Systeme gerade in der Anfangsphase den Technischen Leitern zu. Durch den zunehmenden Aufwand und die immer tiefere Integration sind jedoch zusätzliche Spezialisten notwendig, die ein sehr hohes Verantwortungsbewusstsein mitbringen müssen. Fehler in den Glasfasersystemen sind in beinahe allen Fällen produktionsrelevant und führen im besten Fall zum Ausfall einer großen Signalanzahl, im schlimmsten Fall zum Totalverlust des Sendesignals.

3.2.3 Signalzubringung

Aufgrund der zunehmenden Verfügbarkeit von Lichtwellenleitern auch an entlegenen Orten sowie der Möglichkeit, immer größere Datenmengen über immer größere Distanzen zu übertragen, verzichtet man zusehends auf die Signalzubringung via Satelliten, sondern nutzt erdgebundene Lichtwellenleiter. Hierdurch werden einerseits finanzielle Einsparungen aufgrund nicht benötigter Satellitenbandbreiten erzielt. Andererseits müssen nicht mehr einzelne Slots gebucht werden, sondern die Übertragungsleitungen stehen 24 Stunden ohne Mehrkosten zur Verfügung. Dadurch können sie vermehrt zur Überspielung von programmbegleitenden Elementen genutzt werden.

3.2.4 Finanzielle Faktoren

Die Einführung von Lichtwellenleiter-Systemen bringt sowohl Einsparungen wie auch neue Kosten mit sich.

Die Errichtung der Signalleitungsinfrastruktur kann um ein Vielfaches vereinfacht und verkürzt werden, wodurch sich nachhaltige Kostenersparnisse bei Personal und Material erzielen lassen. Bei gleicher übertragbarer Datenmenge beträgt schon alleine das Gewicht der notwendigen Kupferleitungen ein Vielfaches (bis zu dem mehrfach hundertfachen) von Lichtwellenleitern.

Andererseits sind sowohl die Lichtwellenleiter als solches sowie die notwendigen Endgeräte wesentlich teurer als herkömmliche kupferbasierte Übertragungssysteme und bedingen einen größeren Wartungsaufwand.

In der Summe überwiegen aber die Einsparungen gegenüber den zusätzlichen Kosten. Vor allem die erzielbaren Vorteile gegenüber klassischen Verkabelungen bergen einen noch nicht vollständig einschätzbaren Mehrwert, der nachhaltigen Einfluss auf die Kostenstruktur moderner Projekte hat.

4 Schlusswort

In den kommenden Jahren wird eine zunehmende Umstellung bis hin zur ausschließlichen Nutzung von Lichtwellenleitern erfolgen.

Hierdurch wird es weiterhin zu einer Restrukturierung sowohl von Produktionsabläufen wie auch dem Produktionspersonal an sich kommen. Mit dem „Glasfasertechniker“ wird eine neue Schlüsselposition geschaffen, welche einerseits bereit sein muss, einen großen Teil der Produktionsverantwortung zu übernehmen. Andererseits muss diese Person sowohl über fundierte technische Kenntnisse aller Gewerke sowie über umfassende soziale Kompetenzen zur Koordinierung aller anderen Dienstleister verfügen.

Die Änderungen werden jedoch nicht an der ausführenden Ebene halt machen. Schon auf der kreativen und der Planungsebene wird es zu einem Umdenken kommen, wodurch eine nachhaltige Veränderung von Produktionsstrukturen zu erwarten ist.

Literaturverzeichnis

Mitschke, Fedor (2005): *Glasfasern – Physik und Technologie*. Elsevier – Spektrum Akademischer Verlag

Wrobel, Christoph P. (2004). *Optische Übertragungstechnik in der Praxis; Komponenten, Installation, Anwendung*. Bonn, Hüthig