

Wie wirtschaftlich ist die Online-Schichtdickenmessung?

Nicht nur die Automobilindustrie setzt die Online-Schichtdickenmessung immer häufiger ein. Auch bei den Zulieferern sorgt die neue Technik für einen stabileren Lackierprozess. Welche beträchtlichen Kosteneinsparungen mit Online-Messgeräten erreicht werden können, zeigt der folgende Beitrag.

Lasersysteme werden häufig bei Cockpit-Bedienelementen im Automobilbereich eingesetzt – und hier hauptsächlich für Night-Designs, bei dem ein Laser aus der beschichteten Oberfläche von Bedientasten Symbolelemente herausbrennt und damit gezielt den Lack entfernt. Ist der Grundwerkstoff aus einem transparenten Kunststoff, so kann durch Hinterleuchtung ein leuchtendes Symbolelement erzeugt werden, das bei dunkler Umgebung leicht zu erkennen ist.

Als Grundwerkstoff kommen feste und elastische Kunststoffe zum Einsatz. Als Lacke werden 2-K-Lacke mit unterschiedlichen Farben eingesetzt. Am häufigsten wird Schwarz verwendet. Zunehmend sind aber auch andere Farben wie

Beige und Grau anzutreffen, die durch das Innenraumdesign bestimmt werden.

Immer konstant die gleiche Schichtdicke

Damit die Symbolelemente sauber und rückstandsfrei ausgelasert werden können, ist eine homogene Schichtdicke von zirka 25 µm im Bereich der Symbolflächen vorgeschrieben. Bei einer zu dicken Schicht kann der Laser den Lack nicht vollständig abtragen und es bleiben Lackrückstände auf der freigelaserten Fläche. Bei zu dünnen Schicht dringt der Laser in den Grundwerkstoff ein und verursacht Materialverfärbungen durch zu große Hitze einwirkung. Eine Regelung der Laserstärke in Abhängigkeit von der Schichtdicke ist unwirtschaftlich, da jede Fläche einzeln vor dem Lasern vermessen werden muss. Sinnvoller ist ein Lackierprozess der eine homogene Schichtdicke sicherstellt.

Schneller auf Veränderungen des Lackierprozesses reagieren

Die Schichtdicke kann nach dem Einbrennen oder direkt nach der

Lackierung gemessen werden. Das Messen nach dem Einbrennen hat den Vorteil, dass der Lack sich in einem stabilen Zustand befindet und die eingebrannte Lackschicht sich nicht mehr verändert. Der Nachteil besteht darin, dass sehr viel Zeit durch den langen Trocknungsprozess vergeht, bis ein Beschichtungsergebnis vorliegt. Durch den großen Zeitverzug wird bei Beschichtungsfehlern eine große Menge an Ausschussteilen produziert, weil nicht rechtzeitig auf Prozessveränderungen reagiert werden konnte.

Qualitätsbeeinflussende Faktoren

Eine Schichtdickenmessung direkt nach der Lackierung ist zur Erkennung von Schichtdickenfehlern günstiger, da die Fehler unmittelbar erkannt werden können. Die Schichtdicke wird dazu im feuchten Zustand gemessen und als zu erwartende trockene Schichtdicke ausgegeben. Es ist aber zu beachten, dass die gemessene Schichtdicke noch Veränderungen durch Abdunstung unterliegt.

Das Beschichtungsergebnis zur Erzielung einer homogenen Schichtdicke hängt bekanntlich von weiteren Faktoren ab, die kurz untersucht wer-

Bezeichnung	Zeitskala für Änderungen	Größe der Änderung	Grund	Messmethode
Lack	1 Tag...1 Monate	klein	Chargenänderung	Stichprobe
Bauteil	1 Tag...1 Monate	klein	Oberflächenveränderung	Stichprobe
Temperatur	1 h...1 Tag	mittel	Klimaschwankung	Stichprobe / Online
Luftfeuchte	1 h...1 Tag	mittel	Klimaschwankung	Stichprobe / Online
Oberflächengüte	10 min...2 h	mittel...groß	Ausfall der Vorbehandlung	Online
Applikator	10 min...2 h	mittel...groß	Verschmutzung	Online
Lackaufbereitung	1 min...1 h	groß	Förderproblem	Online
Transportsystem	2 Monate	mittel	mechanischer Verschleiß	Sporadisch
Trocknung	2 Monate	groß	Trocknerausfall	Sporadisch

Tabelle 1: Faktoren, die bestimmend für das Beschichtungsergebnis sind, und deren Größenordnung

den sollen. Wichtig ist die Kenntnis über die Zeitskalen und Größenordnungen der einzelnen Faktoren, um mit geeigneten Messmethoden und Messgeräten die wichtigsten qualitätsbeeinflussenden Größen bestimmen zu können. In Tabelle 1 sind die elementaren Faktoren mit den dazugehörigen Zeitskalen und Größenordnungen aufgelistet.

Die Faktoren mit dem größten Einflussfaktor sind die Oberflächengüte, der Applikator und die Lackaufbereitung. Alle drei Faktoren ändern sich sehr schnell und bestimmen im entscheidenden Maße das Beschichtungsergebnis. Mit einer Online-Schichtdickenmessung kann das Beschichtungsergebnis in Form der Schichtdicke bestimmt werden; es können darüber hinaus die drei qualitätsbestimmenden Faktoren indirekt überwacht werden, da sie einen direkten Einfluss auf die Schichtdicke ausüben. Man erkennt recht schnell, dass mit Offline-Messmethoden wie der Stichprobenmessung die Änderungen der qualitätsbestimmenden Faktoren, aufgrund der großen Zeitabstände zwischen den Stichproben, nur unzureichend erfasst werden können.

Gerade in hochautomatisierten Beschichtungsanlagen ist es für eine wirtschaftliche Produktion wichtig, die zeitliche und größenmäßige Änderung der Schichtdicke mit Online-Messgeräten richtig zu erfassen, um das Beschichtungsverhalten korrekt interpretieren zu können. Die am häufigsten anzutreffenden Probleme, die zu Beschichtungsfehlern führen, sind die Verschmutzung von Applikatoren und Lackzuführsystemen.

Auswahl der geeigneten Messtechnik

Erst die Kenntnis über die qualitätsbestimmenden Faktoren, den Messort und die zeitliche und größenmäßige Veränderung der jeweiligen Faktoren erlaubt die Auswahl geeigneter Messtechnik. Dabei muss geprüft werden, ob das Messergebnis den Prozess richtig erfassen und abbilden kann.

Bild 1 zeigt einen typischen Beschichtungsprozess für Lacke, der hier 40 Minuten dauert. Dabei werden mit einem Online-Schichtdickenmessgerät der Firma OptiSense punktuell an einer Stelle des Bauteils an mehreren Teilen Messwerte aufgenommen. Im Ist-Zustand wird der Beschichtungsprozess nicht online überwacht, sondern nur das Beschichtungsergebnis zu Beginn einer Produktionsschicht ein mal am Tag stichprobenartig mittels Mikroskop und Schnittbild kontrolliert. Der Anlagenbediener kann nur visuell das weitere Beschichtungsergebnis beurteilen und ist zusätzlich für die Überwachung der Produktionslinie zuständig.

Die Beurteilung des Beschichtungsergebnisses ist abhängig von der Erfahrung des Anlagenbedieners und beruhte bisher auf der Bewertung des Reflektionsgrades der Oberfläche. Dazu werden in unregelmäßigen Abständen frisch beschichtete Bauteile entnommen und visuell beurteilt. Die Qualitätsanforderung besteht darin, bei einer Beschichtungsrate von zwei Bauteilen pro Minute eine Schichtdicke von 25 µm +/- 5 µm aufzutragen und dafür zu sorgen, dass die Ausschussrate nach der Auslieferung unter 0,1 % liegt.

Die Messtechnik kann nicht alle Probleme lösen

Grundsätzlich muss geprüft werden, ob die Beschichtungsanlage die Qualitätsanforderungen hinsichtlich Prozessfähigkeit und gewähltem Toleranzband erfüllen kann und ob das Bedienpersonal in der Lage ist, den Anforderungen gerecht zu werden. Oftmals wird diese Überprüfung nur unzureichend vorgenommen und führt deshalb zu großen Qualitätsproblemen, die dann – so meint man – mit Messtechnik behoben werden könnten. Allein der Einsatz von Messtechnik kann solche Probleme nur schwer lösen, da sie meistens konzeptionell oder anlagentechnisch bedingt sind.

In Abbildung 1 erkennt man in den ersten 10 Minuten einen langsamen Schichtdickenabfall auf 0 µm aufgrund

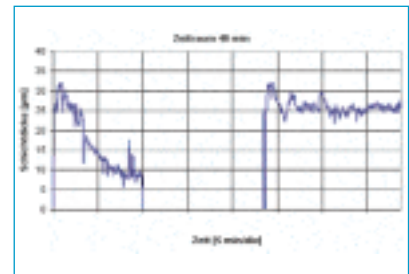


Bild1: Schichtdickenmessung über 40 Minuten mit Lackausfall und Fehlerbeseitigung

einer verschmutzten Sprühdüse. Erst als das Material unterbeschichtet wurde, konnte der Fehler durch die unregelmäßige visuelle Kontrolle vom Anlagenbediener erkannt werden. Die Erkennung und Beseitigung des Problems dauerte 15 Minuten. Im Anschluss an die Fehlerbehebung benötigt der Beschichtungsprozess weitere 10 Minuten, bis er wieder „eingeschwungen“ war. In Summe wurde über einen Zeitraum von 25 Minuten außerhalb des Prozessfensters produziert. Da der Beschichtungsprozess ein kontinuierlicher Vorgang ist, der wegen der Trocknung nicht angehalten werden kann, entsteht zwangsläufig Ausschuss.

Die letzten 5 Minuten in Bild 1 zeigen den stabilen Beschichtungsprozess. Zur Beurteilung, ob die Beschichtungsanlage die Prozessfähigkeit einhalten kann und ob das Toleranzband richtig gewählt ist, können als Hilfsmittel folgende vereinfachte Formeln verwendet werden:

$$S = \frac{\text{MaxSW} - \text{MinSW}}{3}$$

$$T = 8 \cdot S$$

S	Standardabweichung
MaxSW	maximaler Spitzenwert einer Messwertreihe
MinSW	minimaler Spitzenwert einer Messwertreihe
T	Betrag des Toleranzbandes

Im geschilderten Beispiel beträgt die Standardabweichung 0,64 µm und ergibt ein zulässiges Toleranzband von 5,12 µm, respektive +/-2,56 µm. Mit

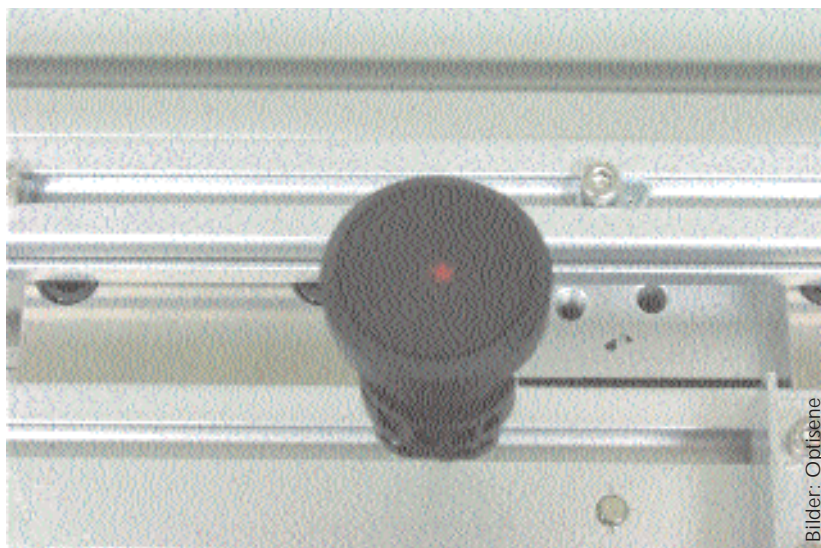
der Einhaltung des Toleranzbandes ist automatisch die Prozesssicherheit gegeben.

Von 1000 Bauteilen darf nur eines fehlbeschichtet sein

Das eigentliche Problem ist die richtige Erfassung der Schichtdicke, die durch eine visuelle Beurteilung über den Reflektionsgrad nicht gegeben ist. Der erfahrene Anlagenbediener kann nur sehr grobe Schichtdickenänderungen größer 15 µm visuell wahrnehmen. Allein um Schichtdickenveränderungen dieser Größenordnung festzustellen,

Diese Zahl ist recht optimistisch, da davon ausgegangen wird, dass nach der Fehlerbeseitigung wieder das richtige Schichtdickenniveau erreicht wird. Oftmals wird mit einer falschen Schichtdicke weiterbeschichtet. Als Konsequenz müssten zur Einhaltung der Ausschussrate alle produzierten Teile aufwändig nachkontrolliert werden, was mit der zerstörenden Stichprobenmessung nicht möglich ist.

In diesem Fall zeigt sich, dass weder das Messkonzept noch der Anlagenbediener in der Lage sind, die Prozessfähigkeit und das geforderte Toleranzband einzuhalten, um die Qualitätsanforderungen zu erfüllen.



Bilder: Optisense

Bild 2: Bedienelement (der rote Punkt ist eine optische Justierhilfe und stellt die Messfleckgröße dar)

len, hätte der Anlagenbediener alle 5 Minuten aufgrund der schnellen Schichtdickenänderung eine optische Kontrolle durchführen müssen. Sicherlich kann man keinem Anlagenbediener eine solche Aufgabe über eine Arbeitsanweisung zumuten, da sie nicht praktikabel ist.

Die wichtigste Anforderung ist die Einhaltung der Ausschussrate von 0,1%. Das bedeutet, dass von 1000 Bauteilen nur eines defekt sein darf. Der oben geschilderte Ausfall von 25 Minuten hat als Folge 100 Ausschussteile produziert. Bei einer zweischichtigen Tagesproduktion über 14 Stunden werden 1680 Teile produziert. Das entspricht einer Ausschussrate von 5,9%.

Dagegen zeichnet sich die Online-Schichtdickenmessung durch eine hohe Messrate aus. Der Anlagenbediener wird unverzüglich alarmiert und kann bei Prozessabweichungen umgehend eingreifen. Der Bediener muss neben seinen weiteren Tätigkeiten zeitnah und inhaltlich die Prozessabweichungen korrigieren können.

Photothermisches Messprinzip

Zur Online-Messung der Schichtdicke kann das photothermische Messgerät „PaintChecker modular“ der Firma OptiSense eingesetzt werden. Beim photothermischen Mess-

prinzip wird ein Laserpuls auf den Lack ausgesendet, der diesen minimal erwärmt. Eine Empfangsoptik registriert den zeitlichen Verlauf der Temperaturänderungen und eine Auswerteeinheit errechnet daraus die Schichtdicke. Sinngemäß lassen sich dünnere Lackschichten mit dem Laser schneller aufheizen als dickere. Der zeitliche Verlauf dient als Maß für die Schichtdicke.

Da keine Temperaturamplituden gemessen werden, sondern nur das thermische Zeitverhalten, ist das Messverfahren tolerant gegen Abstandsschwankungen im Bereich von +/- 10 mm und gegen Verkippen des Messkopfes von +/-30°. Das Messverfahren ist berührungslos und besitzt eine Messwiederholrate von 10 Hz.

Die Berührungslosigkeit ermöglicht die Vermessung trockener und feuchter Schichten von bewegten Bauteilen, während die große Messwiederholrate eine hohe örtliche Auflösung der Schichtdicke ermöglicht. Der Messabstand von 200 mm zum Messobjekt und die große Abstandstoleranz erleichtern den Einsatz in automatisierten Umgebungen. Durch den kleinen Messfleck mit einem Durchmesser von 3 mm und die hohe Winkeltoleranz von +/- 30° können auch sehr kleine Teile oder stark unebene Teile vermessen werden. Ebenso lassen sich mit Spiegeloptiken Hohlräume oder schwer zugängliche Orte vermessen. Auch ist eine Messung auf warmen Bauteilen möglich, da nur Temperaturänderungen in der Schichtdickenbestimmung berücksichtigt werden.

Darüber hinaus kann auch auf anderen Substraten als Metall gemessen werden. Als Einschränkung gilt aber, dass sich der Lack mit dem Laser photothermisch anregen lässt und eine Temperaturänderung wahrnehmbar ist. Bei nichtmetallischem Untergrund sollte eine Prüfung an Hand von Proben erfolgen. Die Vielzahl von Lack-Untergrund-Kombinationen lässt leider keine allgemeingültige Aussage zur Funktionssicherheit und Genauigkeit zu und muss im Einzelfall geprüft werden. Es existieren aber eine Reihe von Erfahrungswerten, auf die zurückgegriffen werden kann.

Trockene und feuchte Lackschichten messen

Laserlacke lassen sich mit dem „PaintChecker modular“ im trockenen oder feuchten Zustand in einem Schichtdickenbereich bis 50 µm auf Silikon oder ABS-Kunststoffen mit einer Genauigkeit von +/- 2,5 µm an bewegten Bauteilen bis 2 m/min messen. Im feuchten Zustand kann erst nach zirka 1,5 Minuten die Schichtdicke gemessen werden, da der Gradient der Schichtdickenänderung durch Verdunstung der Lösemittel dann auf 0,2 µm/min gesunken ist. Kurze Bandstopps bis 2 Minuten können toleriert werden und ergeben einen Schichtdickenfehler bis 0,5 µm.

Das Schichtdickenmessgerät lässt sich in einem statischen Aufbau in die Lackieranlage integrieren. Dazu wird der Messkopf auf den Mittelpunkt der Symbolfläche gerichtet und ein positionsabhängiger Messtrigger mit einer Lichtschranke ausgelöst. In einer grundsätzlichen Untersuchung der Schichtdickenverteilung über die Symbolfläche konnte gezeigt werden, dass mit einem einzelnen Messpunkt die mittlere Schichtdicke der Symbolfläche abgebildet werden kann. Eine gleitende Mittelung der gemessenen Schichtdicken über 4 Bauteile erhöht die Messgenauigkeit und ermöglicht eine Erkennungszeit von 2 Minuten bei Schichtdickenänderungen.

Über ein optisches und akustisches Meldesignal können Abweichungen der Prozessfähigkeit signalisiert werden. Eine Ausschleuseeinheit separiert fehlerhafte Teile aus dem Produktionsprozess. In Kombination mit einer Arbeitsanweisung kann der Beschichtungsprozess vor dem Verlassen der Toleranzgrenzen korrigiert werden. Als Reaktionszeit stehen weitere 3 Minuten für die Korrektur zur Verfügung, bis die Grenzen überschritten werden.

Nutzenanalyse und Abschätzung der Folgekosten

Ausgehend von dem Prozesswissen kann der Nutzen einer Online-Schichtdickenmessung bestimmt werden.

DIE PRODUKTIONSKOSTEN OHNE ONLINE-MESSUNG

		Tageskosten	Kosten/Auftrag
Produktionszeitraum	14 Tage		
Produktionsmenge	1680 Teile/Tag		
Teilekosten	2 €/Teil	3.360,00 €/Tag	
Produktionskosten		3.360,00 €/Tag	47.040,00 €
Ausschussmenge	5,96 %		
Ausschussmenge	100 Teile/Tag	200,00 €/Tag	
Nacharbeit	0 h/Tag	0,00 €/Tag	
Nachkontrolle	1 h/Tag	50,00 €/Tag	
Stundenlohn	50 €/h		
Fehlerkosten		6,93 %	6,93 %
Fehlerkosten		250,00 €/Tag	3.500,00 €
Gesamt		3.610,00 €/Tag	50.540,00 €

DIE PRODUKTIONSKOSTEN MIT ONLINE-MESSUNG

		Tageskosten	Kosten/Auftrag
Produktionszeitraum	14 Tage		
Produktionsmenge	1680 Teile/Tag		
Teilekosten	2 €/Teil	3.360,00 €/Tag	
Produktionskosten		3.360,00 €/Tag	47.040,00 €
Ausschussmenge	1,10 %		
Ausschussmenge	18 Teile/Tag	36,00 €/Tag	
Nacharbeit	0,29 h/Tag	14,50 €/Tag	
Nachkontrolle	0 h/Tag	0,00 €/Tag	
Stundenlohn	50 €/h		
Fehlerkosten		1,48 %	1,48 %
Fehlerkosten		50,50 €/Tag	707,00 €
Gesamt		3.410,50 €/Tag	47.747,00 €

EINSPARPOTENZIAL

Ohne Onlinemessung	50.540,00 €
Mit Onlinemessung	-47.747,00 €
Einsparung	5,53 %
Einsparung	2.793,00 €

AMORTISATION

Auslastungsgrad der Produktionslinie	80 %	
Kosten für Online-Schichtdickenmessgerät	35.000,00 €	
Zusatzkosten für Integration	15.000,00 €	
Personalschulung	2.000,00 €	
Summe Aufwendungen		52.000,00 €
Folgekosten bei fehlerhaft ausgelieferten Teilen	1.000,00 €	-1.000,00 €
zu berücksichtigende Kosten		51.000,00 €
Einsparungspotenzial		199,50 €/Tag
Amortisationszeit		10,65 Monate

Zur Berechnung des wirtschaftlichen Verlustes eines Tages wird angenommen, dass ein Ausschussteil 2 Euro kostet und eine Stunde Nachkontrolle für die Stichprobenmessung benötigt wird. Bei der Anzahl der Ausschussteile und einem Stundensatz von 50 Euro entsteht ein Gesamtverlust von 250 Euro pro Tag, wenn keine Online-Schichtdickenmessung eingesetzt wird. Der Fehlerkostenanteil liegt bei 6,93 %.

Kosten-Einsparung von 5 % mit Online-Schichtdickenmessung

Durch den Einsatz von Online-Schichtdickenmesstechnik kann der Fehlerkostenanteil um 5,53 % reduziert werden. Die interne Ausschussmenge lässt sich um 4,86 % auf 1,1 % verringern. Mit dem Einsatz der Messtechnik kann die geforderte Ausschussmenge bei Auslieferung von 0,1 % nicht direkt erreicht werden, da die Erkennungs- und Reaktionszeit im günstigsten Fall bei 5 Minuten liegt und dementsprechend nicht zu vermeidenden Ausschuss verursacht. Die Nachkontrolle mit automatischer Ausschleusung der Fehlteile sorgt dann für die Einhaltung der geforderten Ausschussmenge bei Auslieferung.

Bei der Gegenüberstellung beider Einsatzvarianten erzielt die Online-Schichtdickenmessung eine Gesamteinsparung von 5,53 %. Gerade im Automobilzulieferbereich werden jährliche Kosteneinsparungen von 3 bis 5 % von den Zulieferern erwartet, die damit erreicht werden können.

Zur Bestimmung der Amortisationszeit wird angenommen, dass das Online-Schichtdickenmessgerät 35 000 Euro kostet und weitere 17 000 Euro für Zusatzkosten und Personalschulung anfallen, so dass eine Investitionssumme von 52 000 Euro aufgewendet werden muss. Geht man von einer 80 %-igen Anlagenauslastung aus, so erreicht man nach zirka 11 Monaten, also innerhalb eines Jahres, die Amortisationsgrenze.

Die Berechnung beruht auf vorsichtigen Annahmen und berücksichtigt sehr verhalten die Folgekosten bei feh-

lerhaft ausgelieferten Teilen. In der Realität ist mit wesentlich höheren Folgekosten für das Qualitätskonzept ohne Online-Schichtdickenmessung zu rechnen, da die geforderte Ausschussrate nicht erzielbar ist. Wird erst der Endkunde auf das Qualitätsproblem aufmerksam, ist die Wirtschaftlichkeit der Beschichtungsanlage aufgrund immenser Folgekosten nicht mehr darstellbar. Neben einer notwendigen Ersatzlieferung ist die Verfügbarkeit der Produktionsanlage für andere Produktionsaufträge blockiert und verursacht einen hohen Zeit- und Auftragsverlust.

Die Kosten-Nutzen-Rechnung geht aber nur auf, wenn das Bedienpersonal zeitlich in der Lage ist, auf Prozessabweichungen reagieren zu können. Des-

halb ist ein richtig gestaltetes Qualitätskonzept von größter Wichtigkeit, bei dem der gesamte Produktionsprozess und die personellen Ressourcen berücksichtigt werden.

Wie die Wirtschaftlichkeitsberechnung zeigt, bedeutet der Einsatz von Online-Schichtdickenmesstechnik nicht zwangsläufig eine Verteuerung der Herstellungskosten, sondern führt zu signifikanten Kosteneinsparungen mit kurzen Amortisationszeiten. Im geschilderten Beispiel konnte erst die Online-Schichtdickenmessung die Qualitätsanforderungen sicherstellen. ■

Der Autor: Dipl.-Ing. Norbert Walter, OptiSense GmbH und Co. KG, Bochum, Tel. 02 34/7 09 90-15, walter@optisense.com