

Detektieren der versteckten Merkmale im Kunststoff

Mit Hilfe der TAGTEC-Technologie



Die TAGTEC-Technologie

Grundlage für die TAGTEC-Marker bilden anorganische Lumineszenzpartikel, die sehr beständig und unempfindlich gegenüber chemischen und physikalischen Einflüssen sind. Somit lassen sich Kunststoffprodukte auch nach langen Lebenszyklen, Verschmutzung und starker Beanspruchung noch sicher erkennen und recyceln. Die Marker sind mit einer Partikelgröße zwischen $2\mu\text{m}$ und $8\mu\text{m}$ für das menschliche Auge unsichtbar und verändern wegen der geringen Größe und Partikelanzahl die Produkteigenschaften nicht.

Ein weiterer Vorteil einer Markierung auf Basis dieser Lumineszenzpartikel ist die toxikologische Unbedenklichkeit, diese sind auch für den Kontakt mit Lebensmitteln zugelassen und erfüllen die hohen Anforderungen der ÖkoTex-Norm. Die Pigmente lassen sich problemlos über Masterbatches in jedes Kunststoffprodukt integrieren und sind fest mit der Matrix verbunden. Drei innovative, auf diesem Gebiet führende Unternehmen haben sich zusammengetan, um die Produktion intelligenter Kunststoffe auf ein neues Level zu heben.

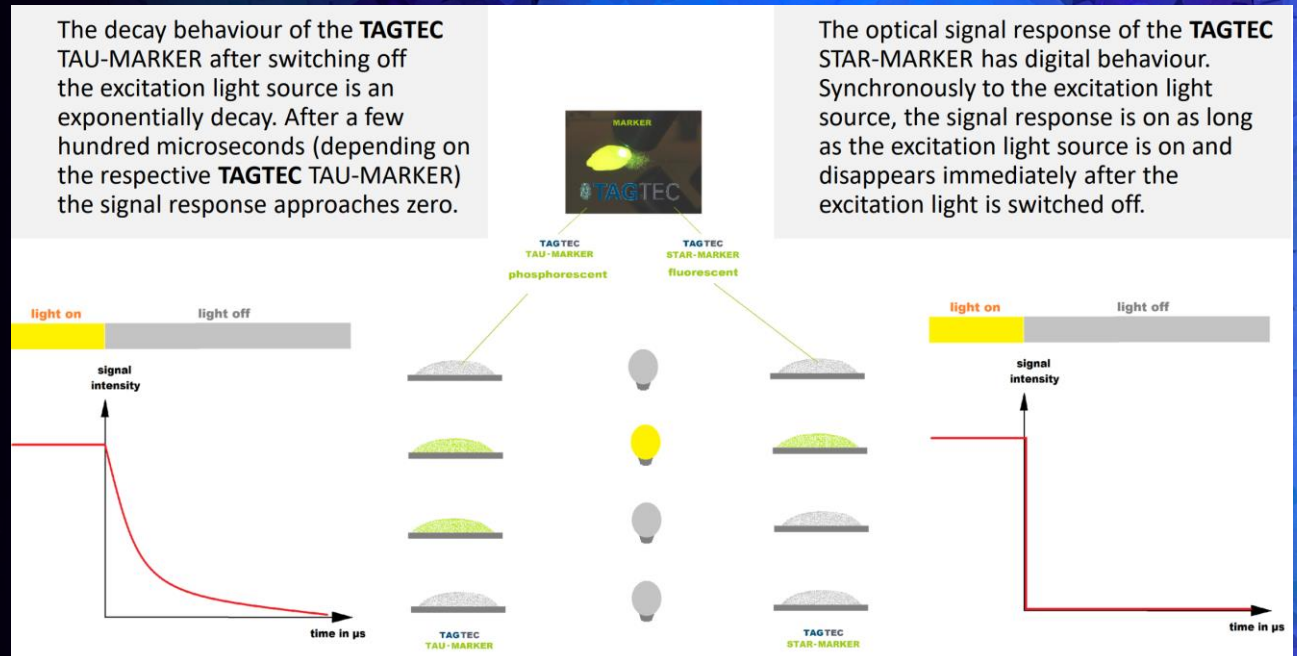


Fluoreszenz oder Phosphoreszenz

Bei Fluoreszenzpigmenten wird das Material mit Licht einer bestimmten Wellenlänge, beispielsweise UV-Licht, angeregt (Primärlicht) und anschließend die optische Emission der fluoreszierenden Partikel (Sekundärlicht) erfasst. Die Sekundäremission findet dabei im sichtbaren oder aber im NIR-Bereich statt (sogenannte Down-Conversion). Pigmente mit phosphoreszierendem Verhalten weisen nach dem Abschalten des Anregungslichts einen exponentiell abklingenden Verlauf des Sekundärlichts auf.

Eine charakteristische Größe dafür ist die Zeitkonstante TAU.

Naturgemäß muss die Fluoreszenz eines Markers während der Anregung des Markerpigments ermittelt werden, dazu sind optische Filter zur Trennung zwischen Primärlicht und Sekundärlicht unerlässlich. Phosphoreszierende Marker hingegen werden mittels kurzem aber leistungsstarkem Lichtimpuls angeregt. Die Anregungswellenlänge kann dabei je nach Markertyp im UV-, im sichtbaren oder aber im NIR-Bereich liegen. Detektiert wird nach Abschaltung der Primärlichtquelle. Ausgewertet wird das Nachleuchten des phosphoreszierenden Markers mit Hilfe der TAU-Ermittlung.



Kunststoffrecycling

- Sammeln von Kunststoffabfällen
- Wiederaufbereiten der Kunststoffabfälle
- Trennen und Sortieren der Grobfraktion mittels TAU-Sensorik
- Schreddern der Grobfraktion
- Reinigen der Feinfraktion
- Trennen und Sortieren der Feinfraktion mittels TAU-Sensorik
- Extrudieren, Filtern und Regranulieren der Feinfraktion
- TAU-Kontrolle des Rezyklats
- Abfüllen des Rezyklats
- Lieferung an die kunststoffverarbeitende Industrie



Markerbasierte Detektion und Sortierung von Kunststoffen mittels TAGTEC-Technologie

Wie kann beispielsweise Rezyklat aus PET, ursprünglich aus dem Lebensmittelbereich kommend, von Rezyklat ebenfalls aus PET, jedoch aus dem Hygienebereich stammend, unterschieden werden - zumal wenn beide Rezyklatprodukte dieselbe Farbe aufweisen?

Solange es sich um Produkte handelt, bei denen noch weitestgehend die Form der Verpackung oder aber ein auf der Verpackung aufgebrachter Digitalcode zu erkennen ist, kann ein KI-gestütztes Bildverarbeitungssystem gute Dienste leisten. Doch was geschieht mit Folienverpackungen, die ihre ursprüngliche Form nicht mehr aufweisen und bei denen darüber hinaus der digitale Code verdeckt wird, oder aber nach dem Schreddern und dem Extrudieren der ursprünglichen Produkte?

Ein anorganischer Marker, homogen und in kleinster Menge im gesamten Kunststoffprodukt verteilt, zudem temperaturbeständig, lebensmitteltauglich, phosphoreszent bzw. fluoreszent, bietet die Möglichkeit, den jeweiligen Kunststoff über den gesamten Kreislauf sicher zu erkennen.

Sortieren und Trennen auf dem Transportband mit Hilfe der TAU-Sensorik



Aufgrund der starken Trennschärfe und der damit einhergehenden hohen Effizienz von phosphoreszierenden Markern wird im Recyclingbereich in erster Linie auf die TAU-Technologie gesetzt. So kann die TAU-Sensorik bereits in der Vorsortierung (Grobfraktion) eingesetzt werden, zum Beispiel zur Sortierung von ganzen, gepressten Kunststoffflaschen, Kunststoffdosen oder Kunststoffkanistern. Durch die recht kurzen Zeitkonstanten von unter $500\mu\text{s}$ sind Scanraten bis in den kHz-Bereich möglich.

Die Abklingzeit (Zeitkonstante TAU) und die Markerkonzentration (Intensität des Sekundärlichts) werden mit einer Messbrücke gemessen, die quer zum Transportband in einem Abstand von einigen hundert Millimetern zu diesem positioniert ist. Das vom Sensorsystem erzeugte Primärlicht erstreckt sich über die gesamte Breite des Förderbandes. Nach der Markererkennung durch die TAU-Sensorik wird ein Signal an die jeweilige Druckluftdüse gesendet.

Sortieren und Trennen der Feinfraktion auf der Rutsche mittels TAU-Sensorik

Um sicherzustellen, dass auch die Feinfraktion erfasst werden kann, werden die Flakes bzw. Fragmente beispielsweise über eine Rutsche befördert. Unter der Glasrutsche ist ein Primärlichtvorhang in Kombination mit einem Zeilendetektor angeordnet, der jedes Fragment mit einer Abtastfrequenz im kHz-Bereich auf das Vorhandensein von TAU-Markern überprüft. Nach dem Erkennen einer bestimmten Konzentration von TAGTEC-Markerpartikeln im jeweiligen Kunststoffteil erfolgt eine gezielte Aussortierung mittels Druckluftdüse.

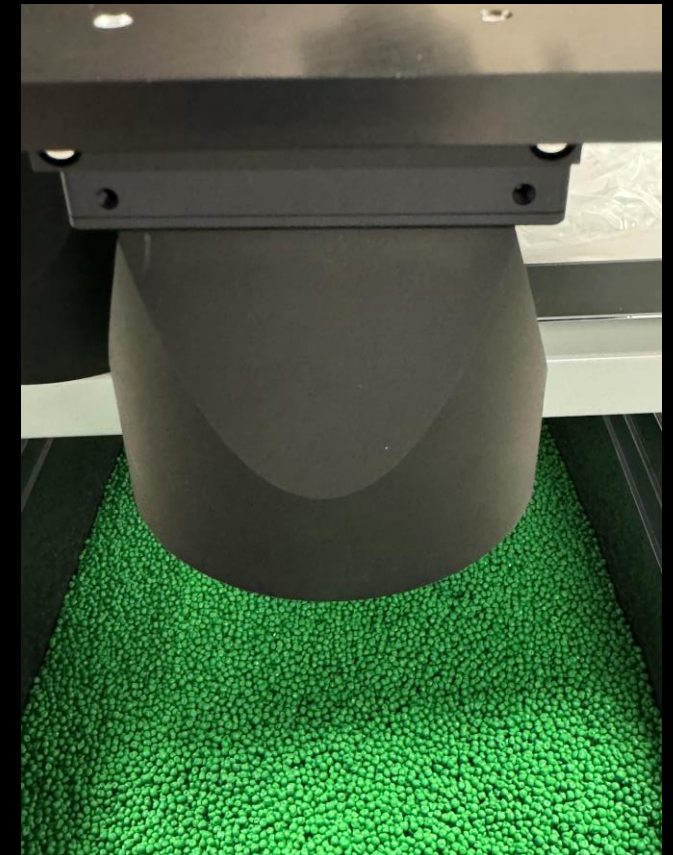
Die Kunststoffprodukte können auch spezifisch mit der für den jeweiligen Markertyp geeigneten Primärlichtquelle untersucht werden. Eine kaskadierte Anordnung ermöglicht die Sortierung unterschiedlicher Markertypen, da die verwendeten TAGTEC-Marker nur mit der für den jeweiligen Marker vorgesehenen Primärlichtquelle angeregt werden können. Dadurch wird eine sukzessive Vermischung der einzelnen Marker bei mehreren Recyclingprozessen verhindert.



Tau-Kontrolle während der Rezyklat-Herstellung

Nach der Sortierung und Abtrennung der Feinfraktion erfolgt die Extrusion. Da die TAGTEC-Markerpartikel den Extrusionsprozess unbeschadet überstehen, kann der Anteil des TAU-markierten Rezyklats am Gesamtzyklat bereits auf der Vibrationsrinne bestimmt werden. Mit Hilfe der DOCAL Windows® Software erhält der Anlagenbetreiber einen Einblick in die Markerkonzentration des im Rezyklat enthaltenen TAGTEC-Markers. Für jeden eingesetzten Marker und dessen Konzentration im Rezyklat steht die passende Inline-Sensorik zur Verfügung.

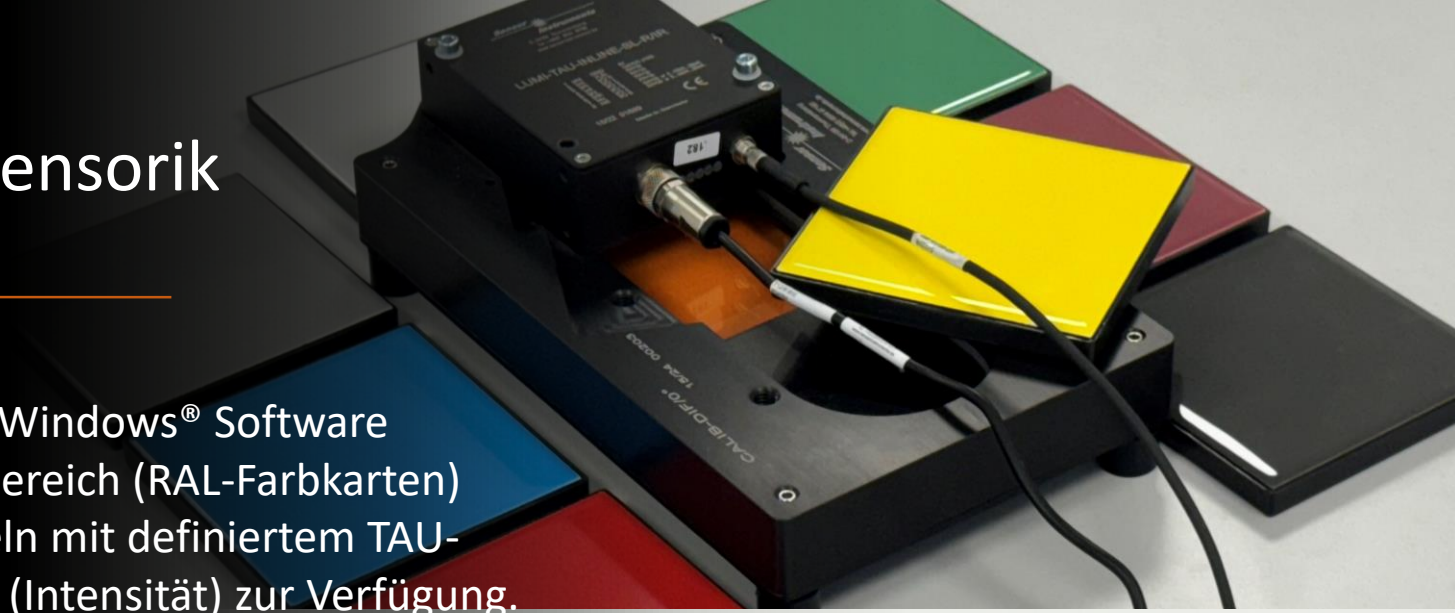
So kann das Rezyklat beispielsweise im roten Wellenlängenbereich mit einem intensiven Lichtimpuls angeregt werden (Primärlicht), während das vom Rezyklat emittierte Phosphoreszenzlicht (Sekundäremission) im nahen Infrarotbereich (NIR) stattfindet. Andere TAGTEC-Marker hingegen können mit UV-Licht, blauem Licht oder im NIR-Bereich angeregt werden. TAGTEC-Marker werden auch als Down-Converter bezeichnet, da die Mittenwellenlänge des Sekundärlichtes immer länger ist als die des Primärlichts.



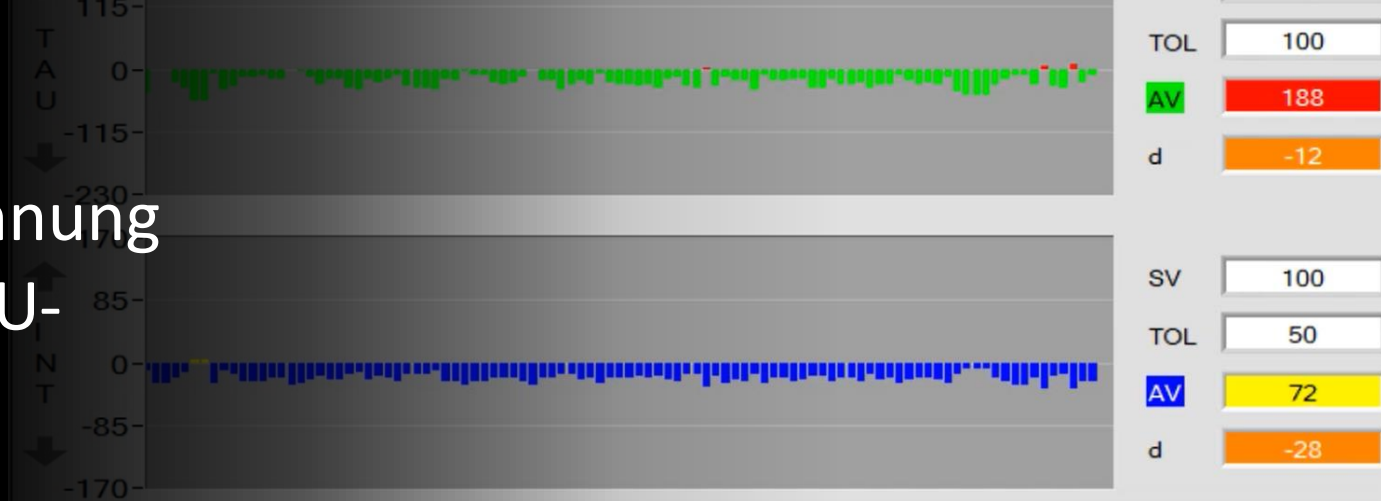
Kalibrierung der TAU-Sensorik

Die Kalibrierung ist mit der DOCAL Windows® Software denkbar einfach. Wie für den VIS-Bereich (RAL-Farbkarten) stehen verschiedene Keramikkacheln mit definiertem TAU-Wert (Zeitkonstante) und INT-Wert (Intensität) zur Verfügung. Für den „Weißabgleich“ kommt hier je nach Primärlichtquelle eine orange oder eine weiße Keramikkachel zum Einsatz. Diese Keramikkacheln sind besonders robust und langlebig. Jeder Keramiktyp liefert dabei einen unterschiedlichen Intensitätsresponse, wodurch eine hochgenaue Kalibrierung auch vor Ort durchgeführt werden kann.

Jede Keramikkachel wird werkseitig vermessen und mit einer 5-stelligen Nummer versehen. Außerdem werden der TAU-Wert und der INT-Wert auf jeder Keramikkachel mittels eines Etiketts vermerkt. Mit Hilfe der DOCAL Windows® Software kann eine Autokalibrierung vorgenommen werden. Nach Herunterladen der Kalibrierkachel-Files von der Website von Sensor Instruments und Eingabe der 5-stelligen Nummer, die der Keramikkachel zugeordnet ist, werden die Sollwerte übernommen.



Darstellung und Aufzeichnung der Inline ermittelten TAU- und INT-Werte



Mit der DOCAL Windows® Software werden die TAU- und INT-Werte numerisch und graphisch dargestellt, ebenso wie deren Abweichung dTAU und dINT zum Sollwert. Gleichzeitig werden die Daten in einem File auf dem Panel-PC gespeichert und können auch über Feldbus (ProfiNet) oder Ethernet übertragen werden.

So wird der Anlagenbediener quasi in Echtzeit über eventuelle Trends des Produktes informiert und kann bei Bedarf eingreifen. Auch die QS-Abteilung hat über die serielle Schnittstelle Zugriff auf die in einem File abgelegten Daten und kann sich auch während der Messwerterfassung in die laufende Datenaufzeichnung einloggen.



Ermitteln der Rezyklat-TAU- und INT-Werte mittels mobilem TAU-Messsystem

Mit dem mobilen TAU-Messsystem kann eine Überwachung durchgeführt werden, ohne dass eine TAU-Sensorik in der Produktionsanlage installiert ist, die Messdaten können jedoch schneller gewonnen werden als im Labor. Eine Rezyklatprobe kann dabei vor Ort aus der Produktion entnommen und der mobilen Einheit zugeführt werden (Fassungsvermögen des Trichters: 11 Liter). Die Kalibrierung des mobilen TAU-Messsystems erfolgt in gleicher Weise wie bei dem Inline- sowie dem Labor-Messsystem mit Hilfe von Keramikkacheln.

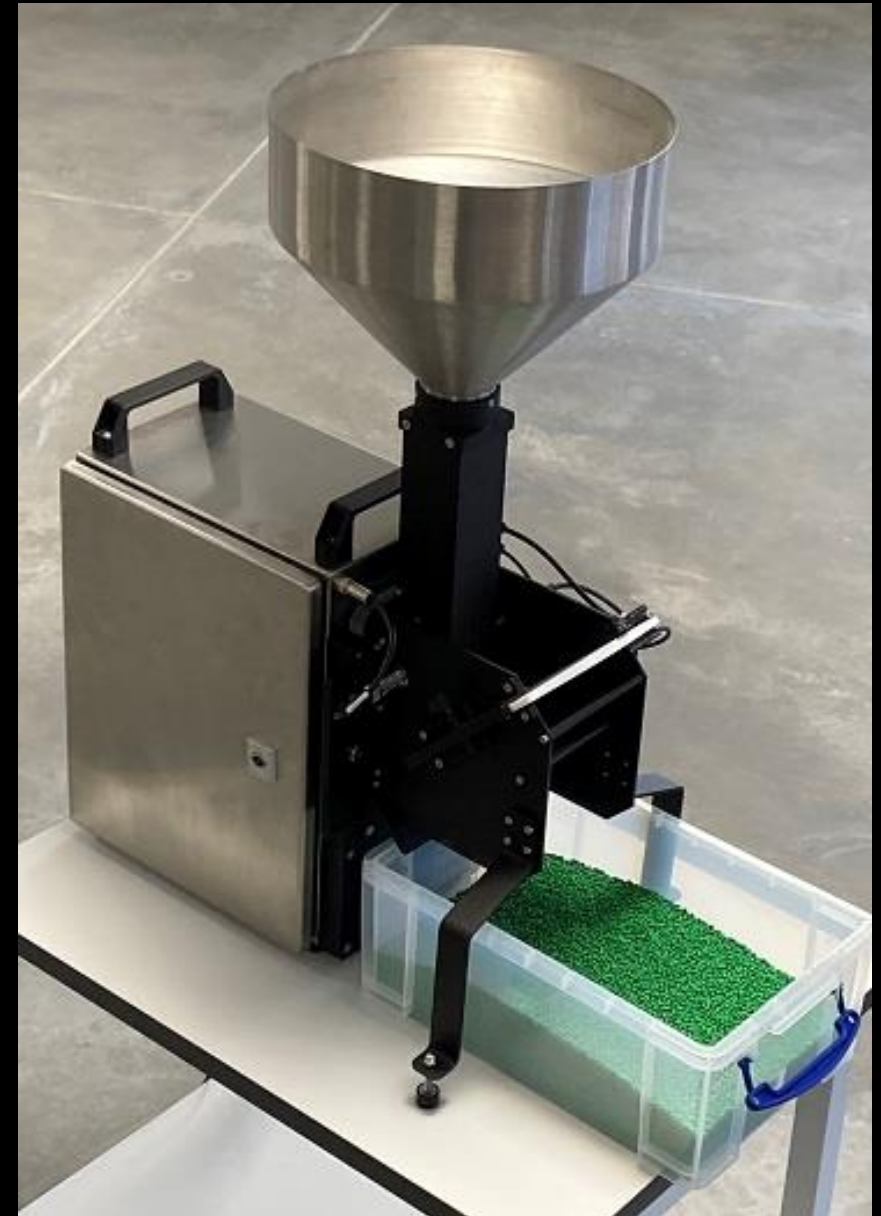
Gemessen wird über die gesamte über den Trichter zugeführte Rezyklatmenge. Mittels DOCAL Windows® Software und Triggersensorik wird die Messung automatisch gestartet und nach Durchlauf der Rezyklatprobe wieder gestoppt. Dadurch wird ein hochgenauer Mittelwert für TAU und INT erreicht, da eine zufällige Lage der einzelnen Granulatkörner kompensiert wird.



Ermittlung der Rezyklat- Werte TAU und INT im Labor

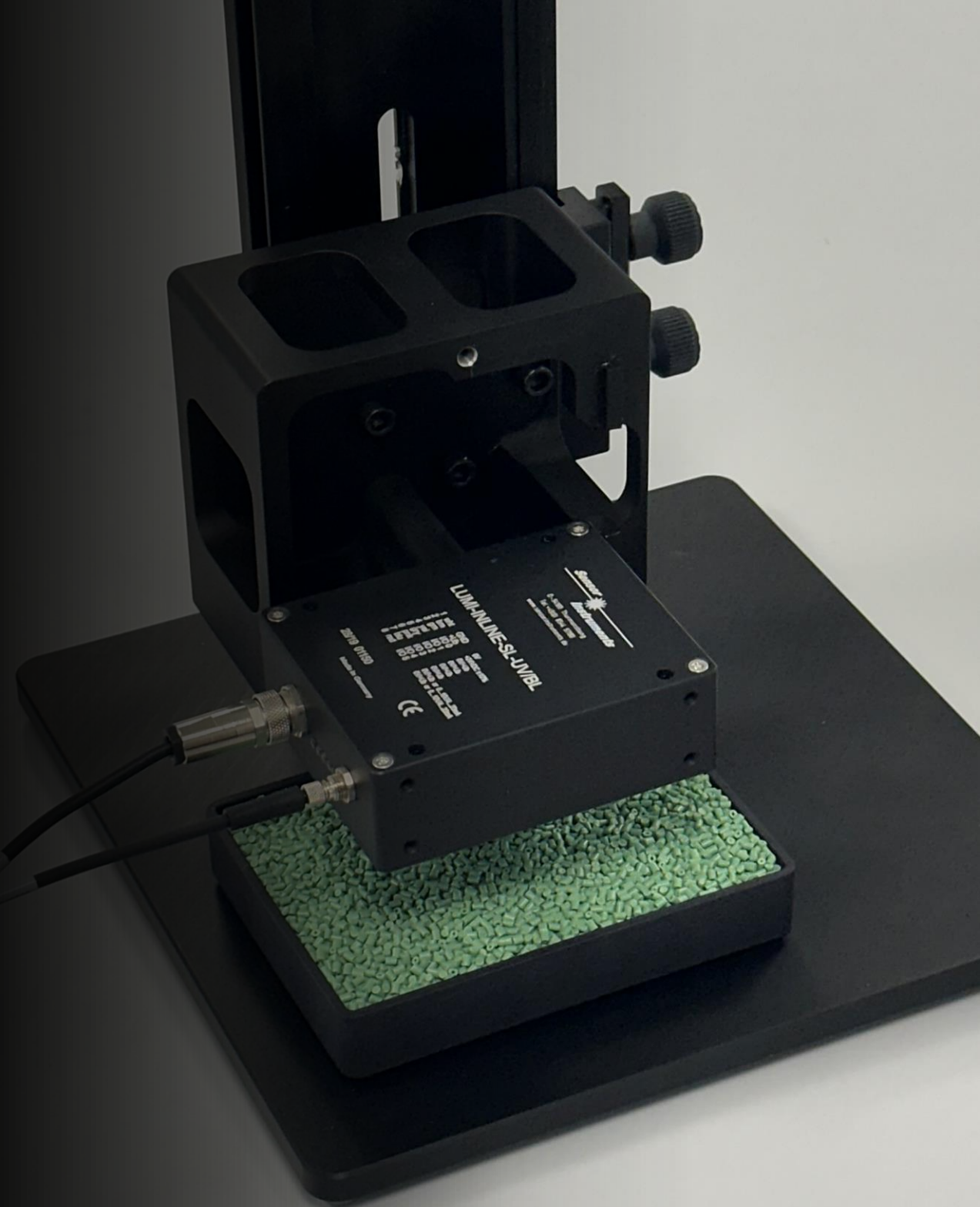
Mit dem TAU-Laborgerät können hochgenau der TAU- sowie der INT-Wert einer Rezyklatprobe ermittelt werden. Die hohe Messgenauigkeit wird durch die Messung auf den Rezyklatfluss und die kontinuierliche Mittelung der Messwerte in der DOCAL Windows® Software erreicht. Dadurch schwindet der Einfluss der zufälligen Lage der einzelnen Granulatkörner im Lichtspot des TAU-Messgerätes.

Der INT-Wert gibt Auskunft über die jeweilige Anreicherung des Rezyklats mit TAGTEC-Markerpartikeln, während der TAU-Wert den jeweiligen Marker an sich widerspiegelt. Das Trichter-Fassungsvermögen beträgt auch hier 11 Liter. Die Messung wird sensorgetriggert gestartet und anschließend abgeschlossen. Mit der DOCAL Windows® Software werden die TAU- und INT-Werte in einer Trendanzeige sowohl graphisch als auch numerisch dargestellt und die Daten über eine serielle Schnittstelle (RS232, USB, Ethernet oder ProfiNet) übertragen.



Kompaktes Laborsystem zur TAU- und INT-Messung von Rezyklaten

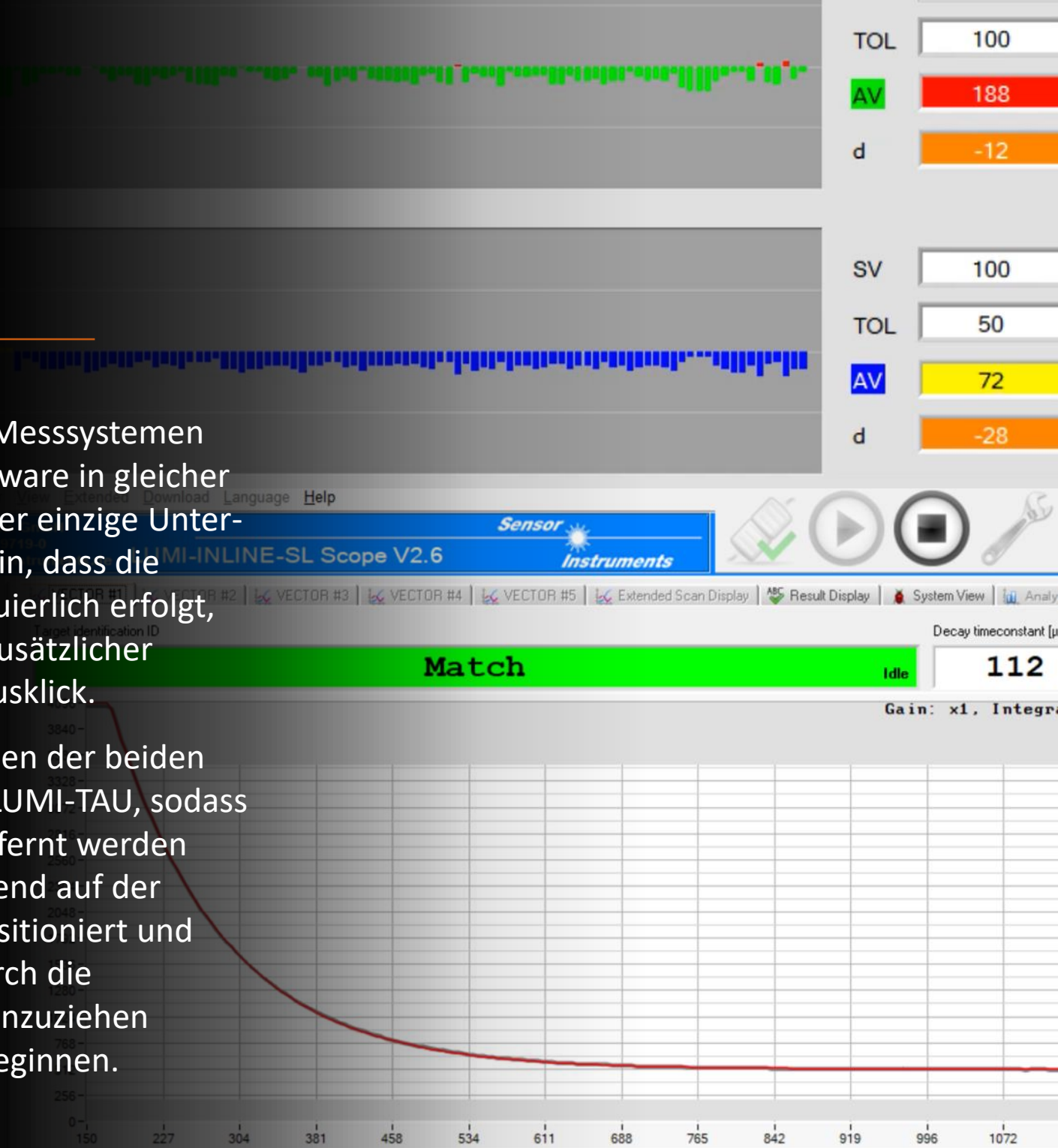
Ein recht kompaktes und zudem kostengünstiges TAU-Messsystem (MST Serie) wurde mit Hilfe einer Messtischplatte und einer optomechanischen Schiene realisiert. Die Rezyklatprobe wird dabei in die mitgelieferten Schälchen gefüllt und in einer Achter-Bewegung seitwärts unter dem Lichtspot verschoben. Dadurch wird ebenfalls eine mit der Inline-Messung vergleichbare Genauigkeit erreicht.



DOCAL Software für die Laborgeräte

Neben den Inline- und mobilen TAU-Messsystemen kann auch die DOCAL Windows® Software in gleicher Weise im Labor eingesetzt werden. Der einzige Unterschied zum Inline-Einsatz besteht darin, dass die Messdatenaufzeichnung nicht kontinuierlich erfolgt, sondern vielmehr getriggert mittels zusätzlicher Sensorik am Laborgerät oder per Mausclick.

Die Kalibrierung erfolgt durch das Lösen der beiden Flügelschrauben am Sensorkopf des LUMI-TAU, sodass dieser aus dem Edelstahlgehäuse entfernt werden kann. Der TAU-Sensor wird anschließend auf der Kalibriereinheit (CALIB-LUMI-TAU) positioniert und die Kalibrierung kann (unterstützt durch die DOCAL Windows® Software) durch Hinzuziehen der verschiedenen Keramikkacheln beginnen.



Kunststoffverarbeitung

- **Einlagerung des Rezyklats in Silos:** Moderne Siloanlagen sind mit fortschrittlicher Steuerungstechnik ausgestattet, die den Betrieb überwacht und steuert, um einen reibungslosen Ablauf zu gewährleisten.
- **Trocknen des Rezyklats:** Rezyklat kann bei der Lagerung Feuchtigkeit aufnehmen, was die Materialeigenschaften negativ beeinflussen kann.
- **Förderung und Dosierung des Rezyklats:** Das Rezyklat wird aus dem Trockner zu den Verarbeitungsmaschinen transportiert. Hierbei kommen Fördersysteme wie Schneckenförderer oder pneumatische Fördersysteme zum Einsatz.
- **Mischen und Homogenisieren:** Um eine gleichmäßige Materialqualität zu gewährleisten, wird das Rezyklat oft mit Neuware oder anderen Additiven gemischt.
- **Extrusion:** Das gemischte Material wird in Extrudern aufgeschmolzen und durch eine Düse gepresst, um neue Kunststoffprodukte wie Folien, Profile oder Granulate herzustellen.
- **Spritzgießen:** Alternativ kann das Rezyklat in Spritzgießmaschinen verarbeitet werden, um komplexe Formteile zu produzieren. Hierbei wird das Material in eine Form gespritzt und unter Druck abgekühlt.



Rezyklat-TAU-Messung am Silo

An einer geeigneten Stelle am Granulatsilo wird ein Schauglas angebracht und anschließend ein LUMI-TAU-INLINE Sensor platziert. Die Auswertung der TAU- und INT-Werte erfolgt ebenfalls über die DOCAL Windows® Software. Das Schauglas wird von Sensor Instruments angeboten, da für eine korrekte Messung sowohl die Art des Glases (hier Kronglas, B270) als auch die Dicke des Glases entscheidend sind.

Beide Teile des Schauglases sind dabei optimal angepasst, um einerseits einen ungehinderten Granulatfluss zu gewährleisten und andererseits den Sensor nahe am Produkt zu platzieren. Auch hier kann die Messgenauigkeit erhöht werden, indem die Messungen während der Bewegung des Rezyklats erfolgen. Durch die Mittelung der Messwerte wird die zufällige Lage der Granulatkörner im Lichtspot kompensiert.



Rezyklat-TAU- und INT- Prüfung während der Materialaufgabe

Eine Rezyklat-Messung in Hinblick auf den TAU- sowie den INT-Wert kann auch am Materialaufgabebehälter erfolgen. Der Anlagenbediener wird dabei frühzeitig über die TAGTEC-Markerkonzentration im eingesetzten Rezyklat informiert. Darüber hinaus können die Messdaten in Echtzeit mit Hilfe der DOCAL Windows® Software an die Qualitätssicherung übermittelt werden. Dabei kommen die Schaugläser zum Einsatz, die für diese Messaufgabe auch an den Silos vorgesehen sind.



TAU- und INT-Messung von Rezyklaten an der gravimetrischen Dosierungseinheit

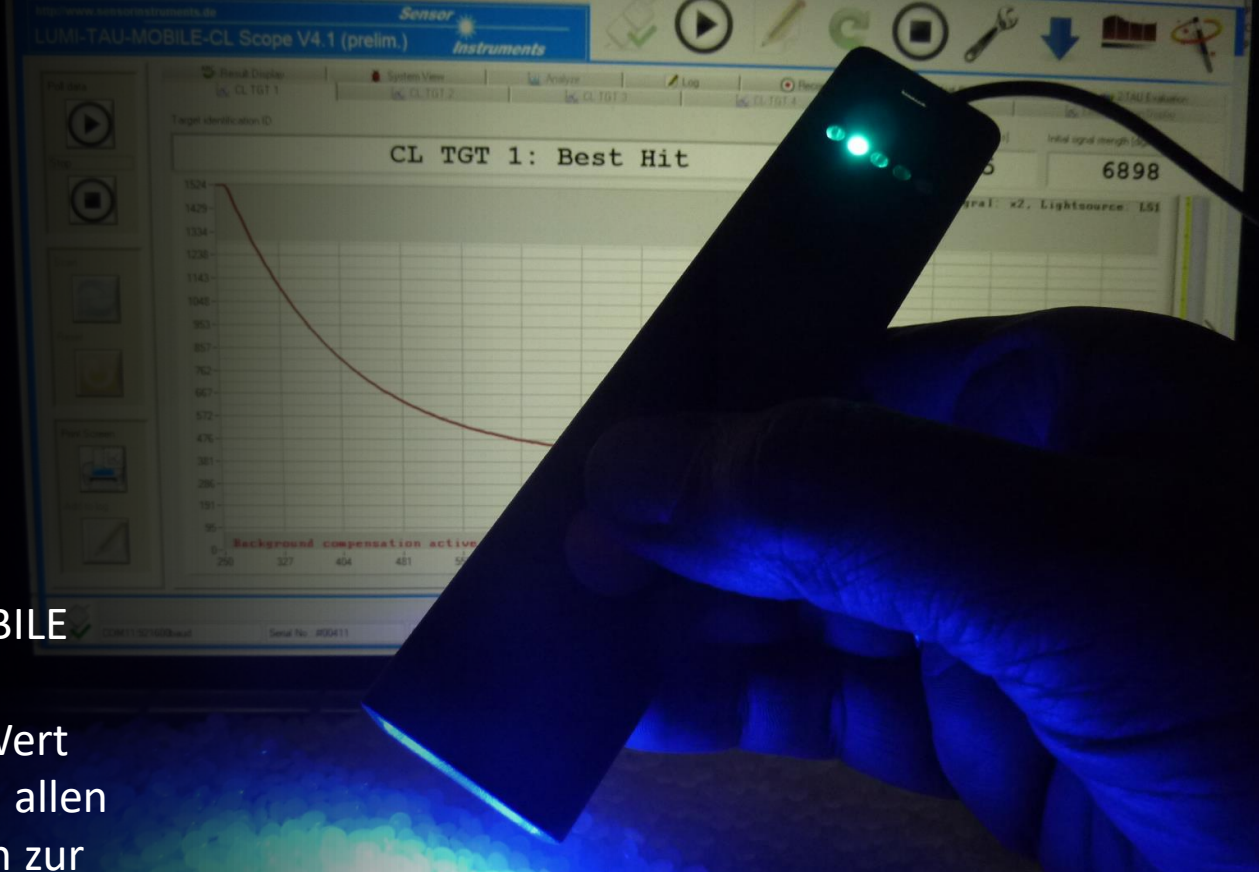
An der Dosieranlage bietet sich eine weitere Möglichkeit zur Messung des TAU- und INT-Wertes des jeweiligen Rezyklats. Die TAU-Sensorik kann nach Anbringen eines entsprechenden Schauglases montiert werden. Die Auswertung der Messdaten erfolgt über die DOCAL Windows® Software. Durch die Übermittlung der Messwerte des jeweiligen Rezyklats an das Kontrollsystem der Dosiereinheit kann nun abhängig von der TAGTEC-Markerkonzentration die entsprechende Menge an TAGTEC-Masterbatch hinzudosiert werden, sodass im Ergebnis die erforderliche TAGTEC-Markerkonzentration im Endprodukt erreicht wird.



Rezyklat-TAU- und INT-Messung mit Hilfe von Handgeräten

Mit Hilfe der Handgeräte der LUMI-TAU-MOBILE Serie können sowohl Endprodukte als auch Rezyklate in Hinblick auf den TAU- und INT-Wert kontrolliert werden. Hierfür stehen Geräte in allen Primär- und Sekundärwellenlängenbereichen zur Verfügung, die auch für die Inline-Messung vorgesehen sind.

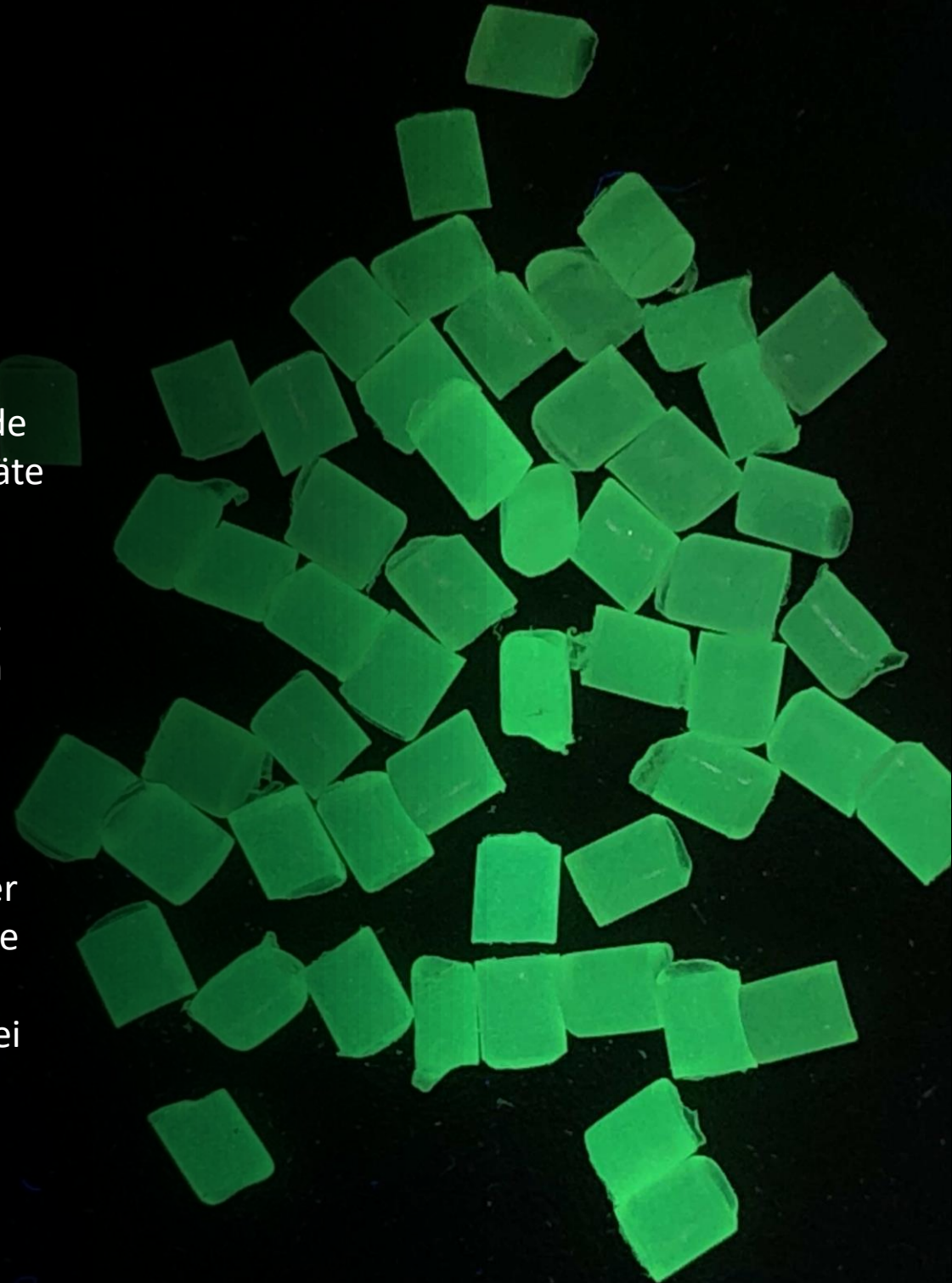
Die korrekte Markerkonzentration INT lässt sich auf einfache Weise über die integrierten LEDs überprüfen und auch der Markertyp kann kontrolliert werden. Darüber hinaus können die LUMI-TAU-MOBILE Handgeräte über eine USB-Schnittstelle an einen PC angeschlossen werden. Die integrierte Bluetooth-Schnittstelle ermöglicht die Datenübertragung auf ein Smartphone.



Einsatz fluoreszierender Marker

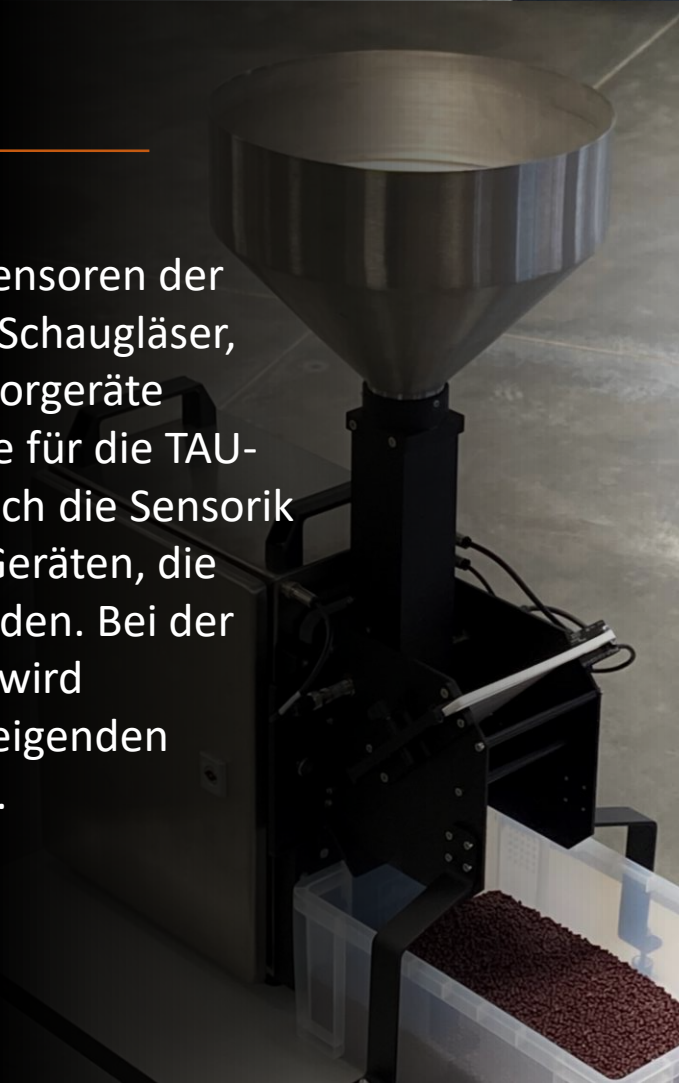
Neben den TAU-Markern stehen auch fluoreszierende TAGTEC-Marker sowie die entsprechenden Messgeräte zur Verfügung. Geeignete fluoreszierende TAGTEC-Masterbatches sind mit Primärlicht im UVA-Bereich sowie im sichtbaren Wellenlängenbereich erhältlich. So kann beispielsweise UV-Licht zur kontinuierlichen Anregung und gleichzeitigen Messung im sichtbaren Wellenlängenbereich verwendet werden.

Je nach eingesetztem Marker erfolgt hierbei eine Fluoreszenz im blauen, grünen, gelben, orangen oder roten Wellenlängenbereich. Spezielle fluoreszierende TAGTEC-Marker können aber auch mit blauem Licht angeregt werden, die Sekundäremission erfolgt dabei zeitgleich im gelben, orangen oder aber im roten Wellenlängenbereich.



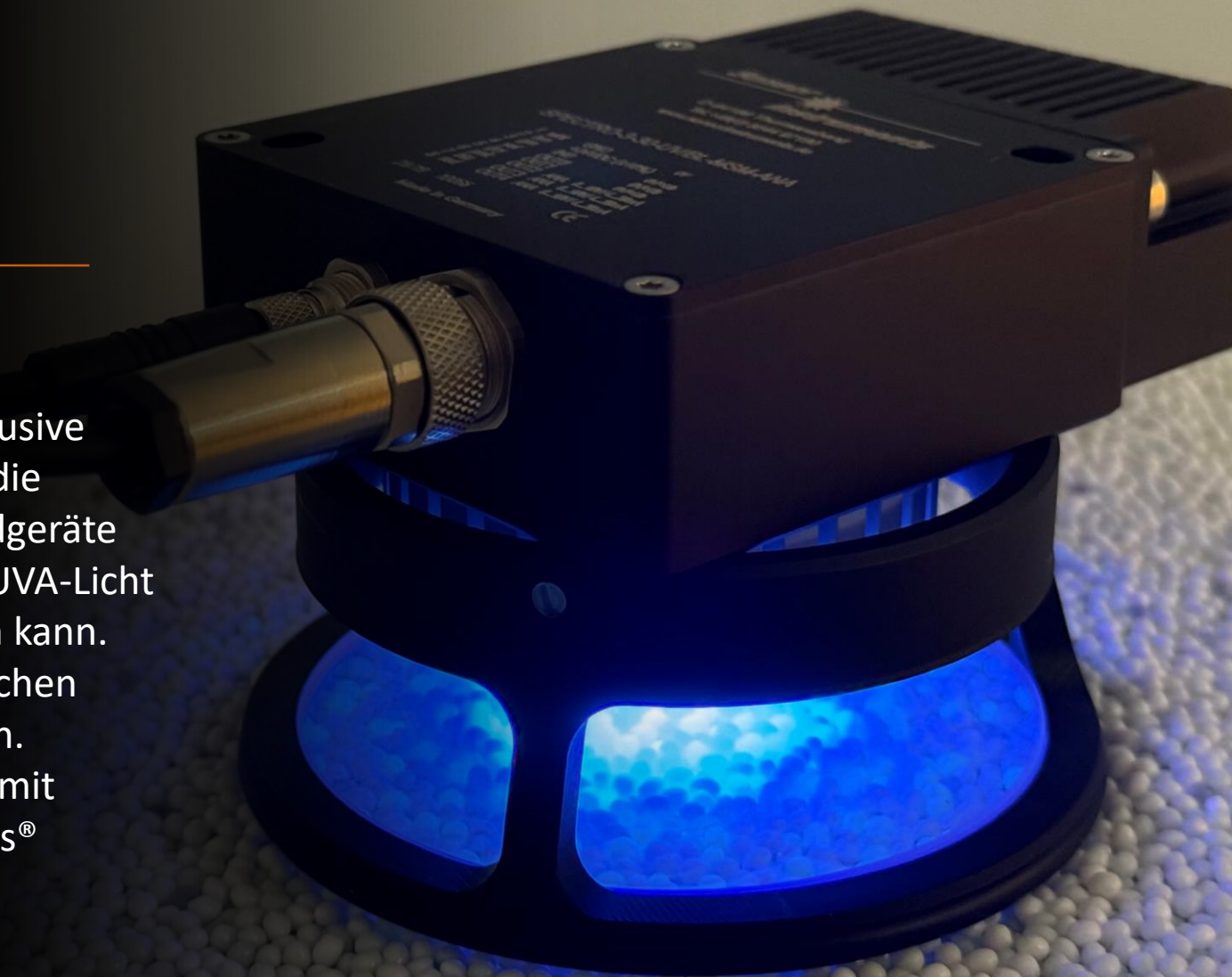
Messgeräte zur Fluoreszenzmessung im Inline-, Mobile- sowie Laborbereich

Zur Fluoreszenzmessung kommen Sensoren der SPECTRO-T-1 Serie zum Einsatz. Die Schaugläser, die mobilen Einheiten sowie die Laborgeräte gleichen dabei von außen denen, die für die TAU-Messung verwendet werden. Lediglich die Sensorik hierfür unterscheidet sich von den Geräten, die für die TAU-Messung eingesetzt werden. Bei der Kalibriereinheit CALIB-SPECTRO-T-1 wird wiederum auf die zur Fluoreszenz neigenden Keramikfarbkacheln zurückgegriffen.



Handmessgeräte zur Fluoreszenzmessung von TAGTEC-Markern

Mit der SPECTRO-T-1 Serie und den entsprechenden Offline-Aufsätzen inklusive vergüteter Glasplatte stehen auch für die fluoreszierenden TAGTEC-Marker Handgeräte zur Verfügung, mit denen sowohl mit UVA-Licht als auch mit Blaulicht angeregt werden kann. Schmalbandige Bandpassfilter ermöglichen ein Herausfiltern der Sekundäremission. Die Messdaten können beispielsweise mit einem Laptop und der DOCAL Windows[®] Software ausgelesen werden.




Clarity about the Recyclate

Detect the Special among the Equal

Nachweis von TAGTEC-Markern in Kunststoffen desselben Typs

Unsere Spezialisten beraten Sie gerne

 +49 (0)8544 9719-0

 info@sensorinstruments.de

 sensorinstruments.de

Sensor



Let's make sensors more individual

Instruments

