

# COLOR PLASTIC TYPE TAG TEC



*Sensor*  
*Instruments*

[www.sensorinstruments.de](http://www.sensorinstruments.de)

## Sensorsysteme

Labor & Inline

in der **Kunststoffrecyclingindustrie**



Sensor Instruments GmbH | Schlinding 15 | 94169 Thurmansbang

Inhalt:

1. Die DOCAL – Software .....	3
2. Farbmessung von Rezyklaten .....	5
2.1 Farbmessung - Grundlagen.....	5
2.1.1 Was ist Farbe?.....	5
2.1.2 Der L*a*b* - Farbraum .....	6
2.1.3 Messgeometrien in der Farbmessung .....	8
2.2 Sensorsysteme für die Farbkontrolle im Labor sowie Inline.....	13
2.2.1 Farbsensorsysteme fürs Labor .....	14
2.2.2 Farbsensorsysteme für den Inline – Einsatz .....	16
3. NIR - Sensorsysteme für die Kontrolle des Kunststofftyps im Labor sowie Inline .....	18
3.1 Das NIR – Dreibereichsverfahren – ein bewährtes Sensorprinzip entlehnt aus dem sichtbaren Wellenlängenbereich.....	18
3.2 NIR – Sensoren und Messgeometrie für die NIR-Detektion .....	25
3.2.1 NIR – Sensor nach dem 0°/45° - Verfahren.....	25
3.2.2 NIR – Sensor nach dem diffus/0° - Verfahren .....	26
3.3 NIR - Sensorsysteme fürs Labor .....	27
3.3.1 NIR - Sensorsysteme fürs Labor nach der Schauglasmethode .....	27
3.3.2 NIR – Sensorsysteme fürs mobile Labor nach der Schauglasmethode.....	28
3.4 NIR - Sensorsysteme für den Inline - Betrieb.....	29
3.4.1 NIR - Sensorsysteme für den Inline - Betrieb nach der Schauglasmethode .....	29
4. Marker - Detektionssysteme zur Unterscheidung der markierten von den nicht markierten Kunststoffgranulaten im Labor sowie Inline .....	30
4.1 TAGTEC – Masterbatches.....	30
4.1.1 TAGTEC – Masterbatches mit phosphoreszierenden und mit fluoreszierenden Markern .....	31
4.2 Herstellung eines Produktes .....	33
4.2.1 Markieren eines Produktes.....	33
4.2.2 Recyceln der Produkte.....	33
4.2.3 Einsatz von Rezyklaten bei der Herstellung von Produkten .....	34
4.3 TAGTEC – Sensoren.....	34
4.3.1 LUMI-TAU – Inline – Sensoren .....	34
4.3.2 SPECTRO-T-1 – Inline – Sensoren.....	35
4.4 TAGTEC – Systeme fürs Labor nach der Schauglasmethode.....	35
4.5 TAGTEC – Systeme fürs mobile Labor nach der Schauglasmethode.....	37
4.6 TAGTEC - Sensorsysteme für den Inline - Betrieb nach der <i>Schauglasmethode</i> .....	38
5.0 Fazit.....	39

## Sensorsysteme zur Rezyklat-Kontrolle in der Kunststoffindustrie fürs Labor und Inline

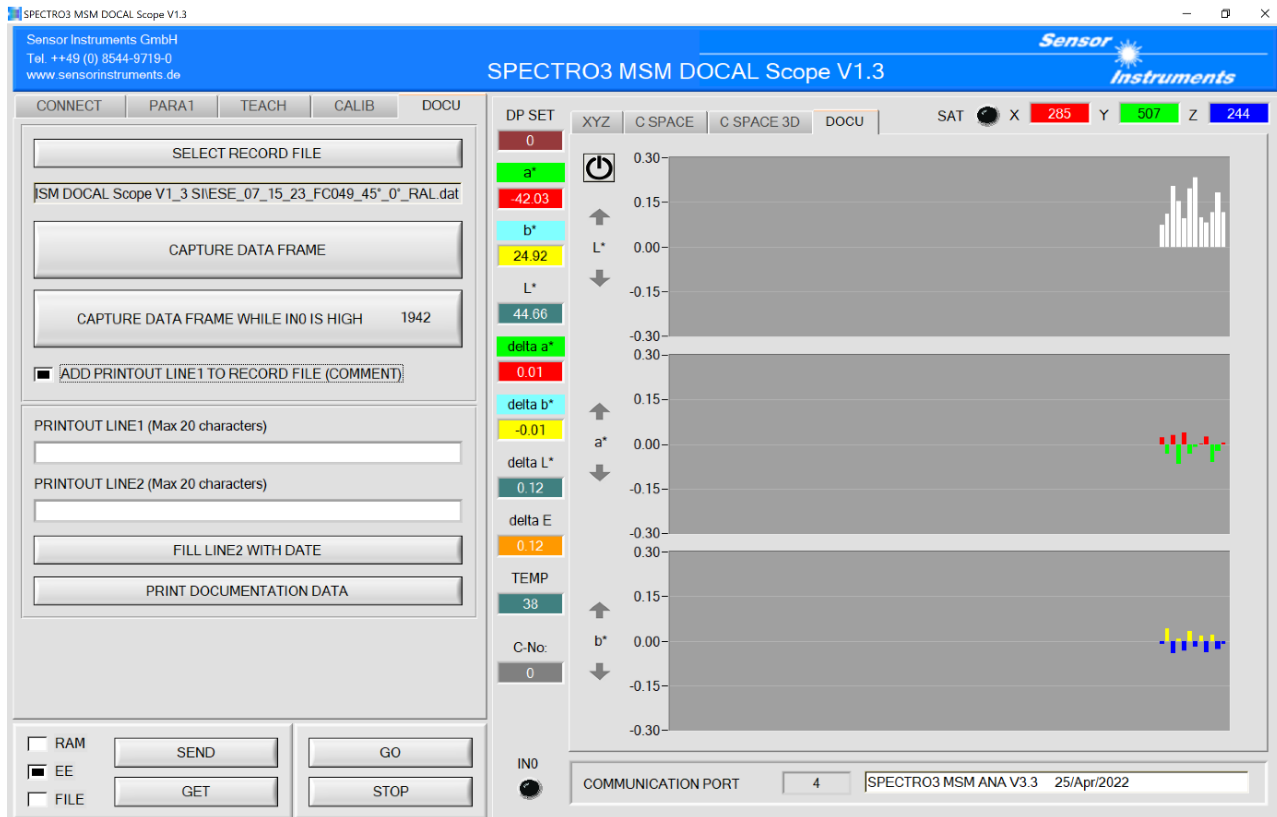
Überwog in der Vergangenheit noch das Downcycling von Kunststoffprodukten, so gewinnt nun zunehmend die Form von Recycling an Bedeutung, bei der der wieder verwendete Kunststoff dem gleichen oder einem vergleichbaren Verwendungszweck zugeführt wird. Das wiederum bedeutet einen erheblichen technischen Mehraufwand bei der Trennung und Sortierung der im Recyclingbetrieb angelieferten Artikel während des gesamten Recyclingprozesses. Nach Abtrennung möglichst aller Nichtkunststoffe, beispielsweise mittels Metallabscheider und Windtrennung, wird derzeit in erster Linie nach Farbe (Farbsortiersysteme) und Kunststoffart (NIR – Kameras) sortiert. Trotz Vorsortierung, hierbei werden überwiegend ganze Artikel kontrolliert, sowie einer Nachsortierung (nach dem Schreddern der Kunststoffartikel und anschließendem Waschen) der als Flakes bezeichneten Kunststoffpartikel, kann keine Sortenreinheit von 100% erreicht werden. Auch bei der Farbe muss mit gewissen Schwankungen gerechnet werden. Um dennoch einen uneingeschränkten Einsatz der so produzierten Rezyklate zu ermöglichen, müssen diese vor dem nächsten Verarbeitungsschritt, allerspätestens unmittelbar vor dem Extrudieren, auf deren Reinheit hin untersucht werden. Typischerweise könnte das von einer Dosieranlage, ausgestattet mit entsprechender Sensorik, erledigt werden. Dabei wird der Reinheitsgrad sowohl der Farbe als auch der Kunststoffart, überwacht. Bei Unterschreitung eines bestimmten Reinheitsgrades wird entsprechend weniger Rezyklat und dafür mehr Neuware hinzudosiert, sodass die Abweichungen im Endartikel, in Hinblick auf die Farbe sowie die Kunststoffart, innerhalb der geforderten Toleranzen liegen. Ferner kann mit Hilfe weiterer Sensorik ein im Rezyklat enthaltener Marker aus der TAGTEC – Familie (enthalten im Masterbatch von der Firma Gabriel Chemie) detektiert werden. Bei farb- sowie kunststoffartgleichen Artikeln dienen Marker dazu, beispielsweise zwischen einer klaren PET – Ketchupflasche und einer klaren PET – Shampooflasche unterscheiden zu können. Neben der eigentlichen Sensorik zur Prüfung der Farbe, der Art des Kunststoffes und des Vorhandenseins etwaiger TAGTEC – Marker werden von der Firma Sensor Instruments auch Prüfsysteme fürs Labor inkl. dem dazu passenden Zubehör für das Kalibrieren der Geräte, sowie Inline – Geräte angeboten, die im Folgenden etwas näher erläutert werden sollen.



### 1. Die DOCAL – Software

Bei den einzelnen Sensoren zur Ermittlung der Farbe, der Kunststoffart und der Detektion nach Markern gibt es zwar schon physikalisch bedingt große Unterschiede, bei der Monitoring- sowie Kalibrierungssoftware hingegen, wurde versucht, der jeweiligen PC - Software ein einheitliches Erscheinungsbild zu geben. Die zur Verfügung stehenden Features sind dabei ident, lediglich die physikalischen Messgrößen differieren. *DOCAL* steht dabei für *DO*ocumentation and *CAL*ibration. Die Windows® - basierte PC – Software ermöglicht also ein Monitoring bei gleichzeitiger Aufzeichnung der Messdaten sowie eine Kalibrierung der Sensorsysteme. Dabei kann die *DOCAL* - PC – Software sowohl bei Labor- als auch bei Inline – Systemen verwendet werden. Die *DOCAL* – Software kann mittels Softwareassistenten bedient werden, der Anwender wird dabei weitestgehend durch die Kalibrierung mittels Kalibriernormalen (beispielsweise RAL – Kunststoffkarten bei der Kalibrierung der Farbe oder aber verschiedener Kunststoffarten, auch hierzu werden definierte Kunststoffplättchen verwendet

und natürlich auch die Kunststoffplättchen mit verschiedenen TAGTEC - Markern und zudem unterschiedlicher Konzentration) geleitet. Aber auch bei der Aufzeichnung und der Darstellung der Messwerte wurde größtmöglicher Wert auf eine einfache Handhabung gelegt.



Im hier gezeigten Beispiel handelt es sich um die DOCU – Seite der DOCAL – PC – Software für die Farbsensoren-systeme. Gezeigt wird dabei der aktuelle  $L^*a^*b^*$  - Farbwert des letzten Messvorgangs, sowie die Abweichungen  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$ ,  $\Delta L^*$  und  $\Delta E$  von einem vom Bediener vorgegeben  $L^*a^*b^*$  - Farbwert. Die Abweichungen vom Sollwert werden zudem auch noch in graphischer Form wiedergegeben. Die Messung kann entweder über externen Trigger, über ein vorgegebenes Zeitintervall oder aber als Einzelereignis via Mausclick ausgelöst werden. Im File erfolgt eine Aufzeichnung der Messdaten automatisch nach jeder Messung, auf dem Bildschirm werden die aktuellen 100 Messwerte dargestellt.

Record results of: SPECTRO3 MSM DOCAL Scope V1.3

DATE	TIME	X	Y	Z	L*	a*	b*	delta E	delta L*	delta a*	delta b*	COLOR	TEMPs	COMMENT
07-16-2023	15:13:48	285	508	244	44.703	-42.079	24.922	0.169	0.162	-0.046	-0.012	0	38	FC049 45°/0°
07-16-2023	15:16:34	284	506	243	44.615	-42.011	24.924	0.078	0.074	0.022	-0.011	0	38	
07-16-2023	15:18:46	284	507	243	44.651	-42.067	24.977	0.123	0.110	-0.034	0.043	0	38	
07-16-2023	15:20:31	286	509	245	44.746	-42.003	24.894	0.211	0.205	0.030	-0.041	0	38	
07-16-2023	15:21:57	285	508	244	44.696	-42.100	24.941	0.169	0.155	-0.067	0.007	0	38	
07-16-2023	15:22:51	284	506	244	44.638	-41.994	24.902	0.109	0.097	0.039	-0.032	0	38	
07-16-2023	15:24:32	286	509	245	44.738	-42.065	24.968	0.202	0.197	-0.032	0.034	0	38	
07-16-2023	15:26:30	287	510	246	44.774	-42.043	24.916	0.234	0.233	-0.010	-0.018	0	38	
07-16-2023	15:28:55	284	506	243	44.642	-42.031	24.952	0.102	0.100	0.002	0.018	0	38	
07-16-2023	15:31:06	284	506	243	44.623	-42.010	24.896	0.093	0.082	0.024	-0.038	0	39	
07-16-2023	15:33:29	284	507	243	44.659	-42.095	24.956	0.135	0.118	-0.062	0.022	0	39	
07-16-2023	15:35:30	286	508	245	44.724	-42.057	24.908	0.187	0.183	-0.024	-0.027	0	38	
07-16-2023	15:38:43	285	507	244	44.658	-42.028	24.923	0.118	0.117	0.005	-0.011	0	38	

Die abgespeicherten Messwerte können mit EXCEL® dargestellt werden.

## 2. Farbmessung von Rezyklaten

Wie misst man am besten die Farbe von Rezyklaten? Handelsübliche Handgeräte eignen sich zwar recht gut zur Farbmessung an planen, vorzugsweise homogenen Oberflächen. Bedingt durch den relativ kleinen Lichtspot, den diese Geräte aufweisen, endet ein Versuch, eine Farbmessung direkt an den Kunststoffgranulaten durchzuführen meistens eher mit einem Schätzwert als mit einem belastbaren und reproduzierbaren Messergebnis. Deswegen werden oftmals seitens des Anwenders zunächst Spritzgussplättchen aus dem jeweiligen Rezyklat erstellt, diese liefern die für die Farbmesshandgeräte notwendige plane Oberfläche. Letztendlich erhöht aber diese Vorgehensweise aber in erster Linie den zeitlichen Aufwand, wodurch die Produktion länger als nötig auf das notwendige Feedback aus dem Labor warten muss. Unter Umständen muss dadurch mit vermeidbarem Ausschuss, wegen Nichteinhaltung der Farbwerte gerechnet werden. Ein schnelleres Feedback erhält man hingegen mit den innovativen Labor- und Inlinesystemen der Fa. Sensor Instruments, die im Folgenden vorgestellt werden sollen. Aber zunächst einmal ein kleiner Ausflug zu den Grundlagen der Farbmessung.

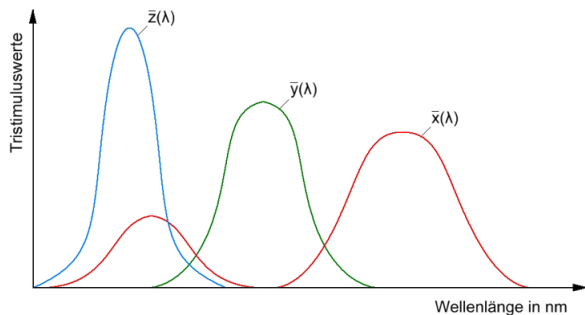
### 2.1 Farbmessung - Grundlagen

#### 2.1.1 Was ist Farbe?

Farbe entsteht durch die Beleuchtung von Objekten mit elektromagnetischer Strahlung im Wellenlängenbereich zwischen 380nm und 780nm oder durch Selbstleuchter, die Licht im sichtbaren Bereich abgeben.

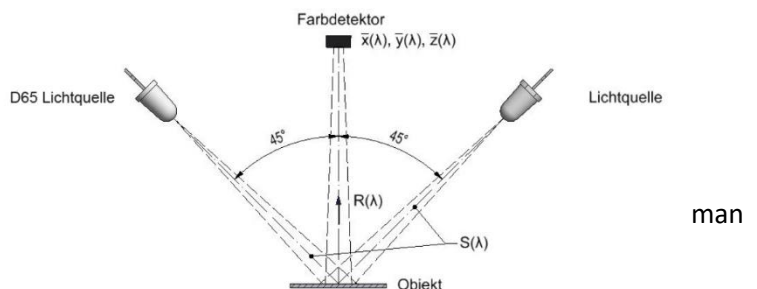


Das menschliche Auge unterteilt das empfangene sichtbare Licht mit Hilfe der in der Netzhaut im Augenhintergrund vorhandenen lichtempfindlichen Zäpfchen in drei Bereiche: **ROT (X) GRÜN (Y) BLAU (Z)**.



Das Diagramm zeigt den Zusammenhang zwischen der Empfindlichkeit der rot-, grün- und blau-empfindlichen Zäpfchen in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Bei den Farbwerten **X Y Z**, den sog. Tristimuluswerten, handelt es sich um die mathematische Beschreibung, dessen, was die lichtempfindlichen Zäpfchen an Information liefern. Damit diese Werte nun berechnet werden können, muss zunächst einmal das spektrale Emissionsverhalten **S** in Abhängigkeit von der Wellenlänge bekannt sein. Für

die Farbmessung wird in der Regel D65 ähnliches Licht eingesetzt. Bei den Messsystemen von Sensor Instruments liefern sog. Sunlight – LEDs D65 ähnliches Licht. Für den Farbeindruck entscheidend ist aber auch die diffuse Lichtreflexion am zu kontrollierenden Objekt, in unserem Fall die diffuse Lichtreflexion am Kunststoffgranulat **R** in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Berücksichtigt nun noch die Farbempfindlichkeit  $x,y,z$ , in Abhängigkeit von der Wellenlänge, der drei verschiedenen lichtempfindlichen Zäpfchen, dann können die Tristimuluswerte **X Y Z** berechnet werden:



$S(\lambda)$ = relative spektrale Leistungsverteilung der Beleuchtungsquelle

$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ = Spektralwertfunktionen für CIE 2° Normalbeobachter (1931)

$R(\lambda)$ = Spektrale Reflexion des Objekts

$$X = K \int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} S(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$Y = K \int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} S(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$Z = K \int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} S(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda$$

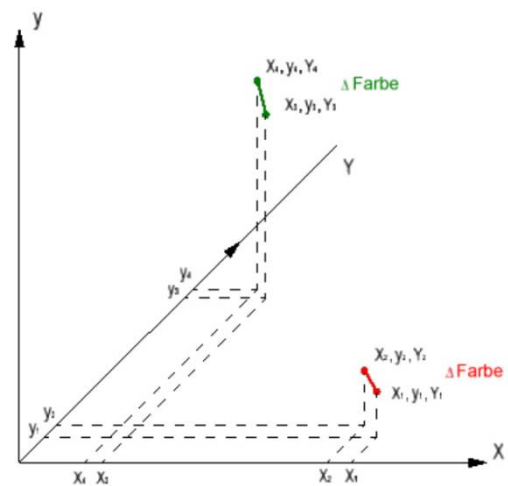
$$K = \frac{100}{\int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} S(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda}$$

Das Verhältnis der Farbanteile X Y Z definiert nun eine bestimmte Farbe. Im Laufe der Zeit wurden nun Methoden eingeführt, um eine Farbe besser beschreiben zu können. Zunächst wurden normierte Farbwerte eingeführt:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z} = 1-x-y$$

Mit den x, y, z - Werten

(Yxy-CIE-Farbsystem) war es nun möglich, eine Farbe in den eigentlichen Farbton x, y und den Intensitätswert Y (vielmehr handelt es sich hierbei um den grünen Tristimuluswert) aufzutrennen. Es zeigte sich jedoch, dass mit dieser Methode eine Farbänderung in dx, dy oder dY an verschiedenen Orten im Farbraum vom Betrachter als unterschiedlich intensiv wahrgenommen wurde.



### 2.1.2 Der L\*a\*b\* - Farbraum

Um einen für den Betrachter empfindungsgemäß gleichen Farbunterschied mathematisch beschreiben zu können, wurde das L\*a\*b\* - Farbsystem eingeführt. Ein vom menschlichen Auge gerade noch wahrzunehmender Farbunterschied zweier benachbarter Farben und das an beliebiger Stelle im Farbraum, liefert nun auch die gleiche mathematisch ermittelte Farbdistanz dE.  $X_n, Y_n$  und  $Z_n$  stellen dabei die Tristimuluswerte X Y Z für einen perfekt reflektierenden Diffusor (z.B. eine weiße, matte Oberfläche) dar:  $X_n = 95.05 \quad Y_n = 100 \quad Z_n = 108.9$

$$L^* = 116 \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16$$

$L^*$ = Helligkeitsvariable

$$a^* = 500 \left[ \left( \frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right]$$

$a^*$ = Chromatizitätskoordinaten für die Grün/Rot-Verschiebung

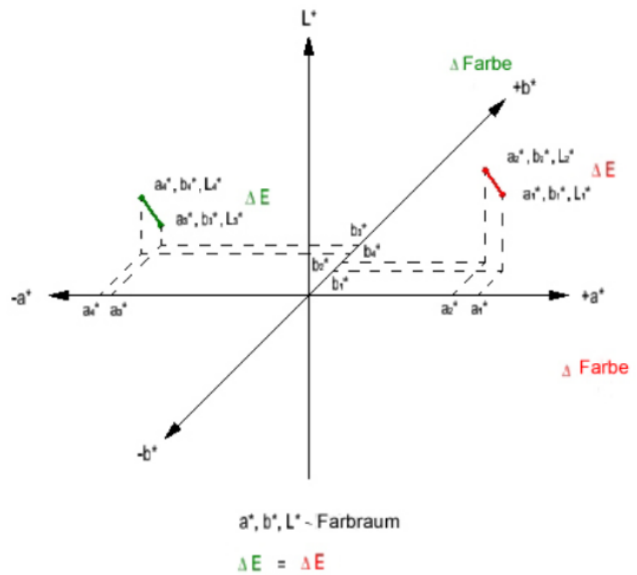
$$b^* = 200 \left[ \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left( \frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right]$$

$b^*$ = Chromatizitätskoordinaten für die Blau/Gelb-Verschiebung

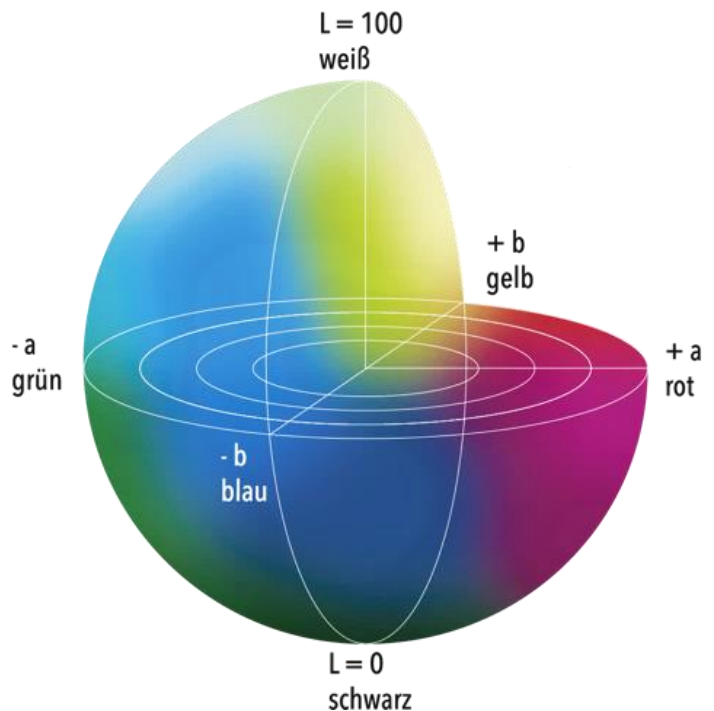
XYZ= Tristimuluswerte

Das L\*a\*b\* - Farbsystem (auch als CIELAB bezeichnet) ist das am häufigsten angewandte System zur Farbermittlung. 1976 wurde es von der CIE als einer der gleichabständigen Farbräume definiert, damit man dem Hauptproblem des Yxy – Farbsystems begegnen kann: Gleiche Abstände zweier Farbnuancen im Y, x, y – Farbraum führen nicht zu empfindungsgemäß gleichen Farbunterschieden. Der Farbraum des L\*a\*b\* - Systems ist durch die Helligkeit L\* und die Farbkordinaten a\* und b\* bestimmt, dabei wird mit Hilfe des a\* - Wertes eine ROT/GRÜN – Verschiebung definiert (-a\* -> Richtung GRÜN, +a\* -> Richtung ROT), während der b\* - Wert eine BLAU/GELB – Verschiebung anzeigt (-b\* -> Richtung BLAU, +b\* -> Richtung GELB). Ein hoher L\* Wert hingegen, gibt Auskunft darüber, dass es sich um ein helles Objekt handelt, während ein niedriger L\* - Wert über einen recht dunklen Gegenstand informiert. Im Folgenden seien an dieser Stelle schon mal ein paar L\*a\*b\* - Werte von Rezyklaten verschiedenster Farben aufgelistet:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2}$$

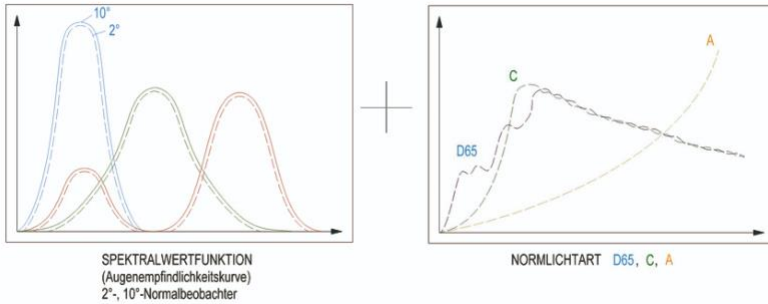


Rezyklat-Farbe	L*	a*	b*
Hellbeige	92.76	-3.03	8.92
Hellgrau	87.49	-3.87	-5.45
Hellblau	64.07	-11.65	-15.19
Dunkelblau	33.19	-6.51	-28.55
Rot	34.75	48.43	15.80
Grün	53.33	-43.41	28.30
Dunkelgrün	26.40	-8.92	4.01
Gelb	80.98	19.97	86.82
Dunkelgrau	25.73	-1.78	-0.92
Oliv	33.72	-8.80	8.97
Weinrot	24.18	10.12	1.94



### 2.1.3 Messgeometrien in der Farbmessung

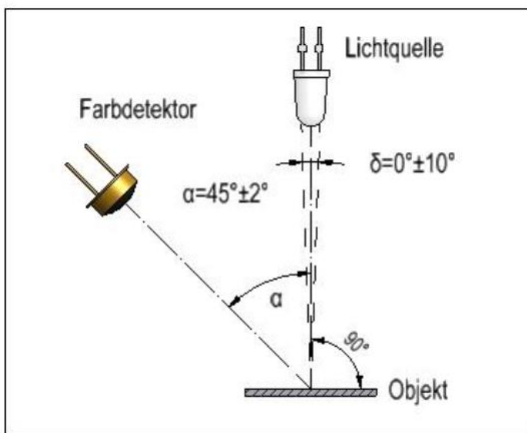
Neben dem sog. True – Color - Farbdetektor, ein dem menschlichen Farbempfinden nachempfundenen Detektor, ist auch eine Lichtquelle erforderlich, die der Norm möglichst gut entsprechen sollte. Der D65 – Standard hat sich dabei in den meisten Fällen durchgesetzt. Die Sunlight – LEDs, die in den Farbmesssystemen von Sensor Instruments eingesetzt werden, sind diesem Standardlichtverlauf nachempfunden.



Bei einer Farbmessung ist jedoch nicht nur die Wellenlängencharakteristik entscheidend, sondern auch die Abstrahlcharakteristik der eingesetzten Lichtquelle, sowie die Ausrichtung der Lichtquelle und des Farbdetektors. Die Messgeometrie ist also ein weiterer wichtiger Punkt, der bei einer Farbmessung berücksichtigt werden muss. Im Folgenden werden die beiden Messgeometrien, die bei den Messsystemen von Sensor Instruments zum Einsatz kommen, näher erläutert.

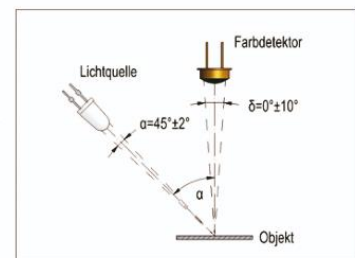
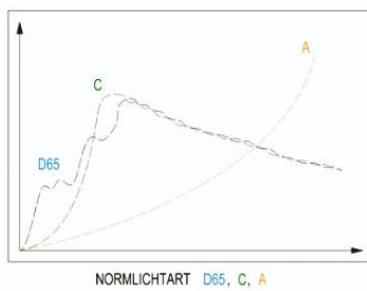
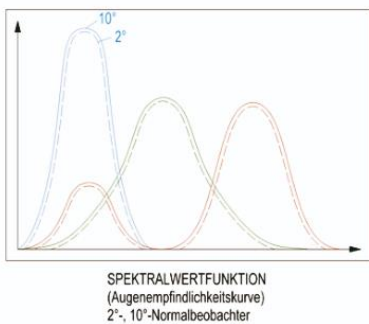
#### 2.1.3.1 Die 0°/45° - Methode

Bei der 0°/45° - Methode erfolgt die Lichteinstrahlung aufs Objekt senkrecht zur Messobjektfläche, d.h. unter 0° zur Normalen der Messobjektfläche. Die Idee bei dieser Anordnung ist das Vermeiden einer



0/45 Messgeometrie

Direktreflexion in Richtung Farbdetektor, sodass nur diffus reflektiertes Licht (einer planen Oberfläche) auf den Empfänger treffen kann. Da jedoch Pellets über eine kugelförmige, zylindrische oder aber ovale Oberfläche verfügen, die zudem bei etlichen Granulaten sehr glänzend ausfallen kann, kann es bei dieser Methode auch zu Direktreflexionen kommen. Diese können jedoch bei Vergrößern des Abstandes vom Sensor zur Messobjektfläche (bei Sensor Instruments wurde der Abstand auf 85mm vergrößert) erheblich reduziert werden. Zudem kann bei dieser Messgeometrie mit Lichtleiterfaserbündeln gearbeitet werden, wodurch selbst bei hohen Temperaturen der Rezyklate das 0°/45° - Messsystem zum Einsatz kommen kann.

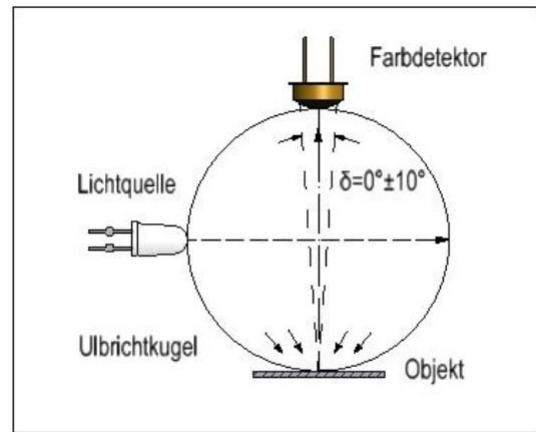


45°/0° Methode

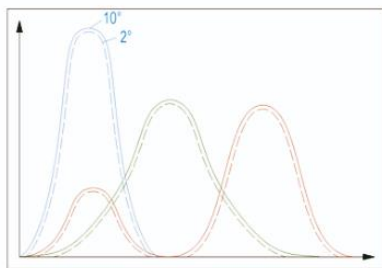


### 2.1.3.2 Die diffus/0° - Methode

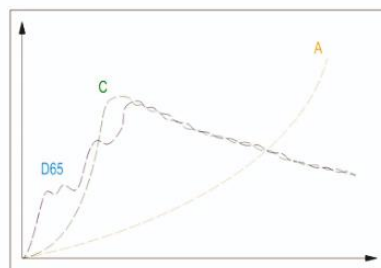
Es handelt sich hierbei um eine Annäherung an das bei Hand- sowie Laborgeräten verwendete d/8° - Prinzip. Bei der d/8° - Methode wird mittels einer Ulbrichtkugel (es handelt sich dabei um eine Hohlkugel, deren Innenseite mit weißer, matter beschichtet ist, was für eine homogene, diffuse Lichtstreuung sorgt) aus dem gesamten Halbraum heraus beleuchtet, der Farbdetektor hingegen, ist unter 8° zur Normalen auf die zu vermessende Oberfläche gerichtet. Damit Licht in den gesamten Halbraum mittels Ulbrichtkugel abgestrahlt werden kann, ist es erforderlich, bei diesem Messsystem aufs Objekt aufliegend zu arbeiten. Somit scheidet ein Inline – Einsatz eines Messsystems, das die d/8° - Methode verwendet, bei vorhandener kontinuierlicher Bewegung der zu messenden Objekte, nahezu aus. Eine Annäherung an einen „Ulbricht’schen“ Diffusor stellt eine Volumenstreuscheibe dar, die das Licht eines Clusters von Sunlight – LEDs möglichst homogen nahezu in den gesamten Halbraum verteilt. Freilich, da Inline – bedingt, ein gewisser Abstand zum Objekt eingehalten werden muss, kann es sich hierbei nur um eine Annäherung an die d/8° - Methode handeln. Der Empfänger ist zudem nicht unter 8°, sondern unter 0° angeordnet. Ist die diffus/0° - Methode streng genommen auch kein genormtes Messverfahren, so liefert diese Messmethode insbesondere bei inhomogenen Flächen, speziell bei einer Granulatoberfläche, ausgezeichnete Ergebnisse.



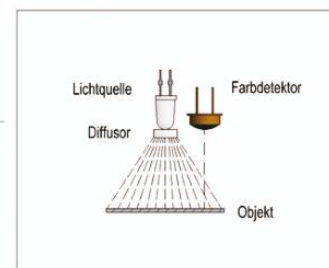
d/0 Messgeometrie



SPEKTRALWERTFUNKTION  
(Augenempfindlichkeitskurve)  
2°, 10°-Normalbeobachter

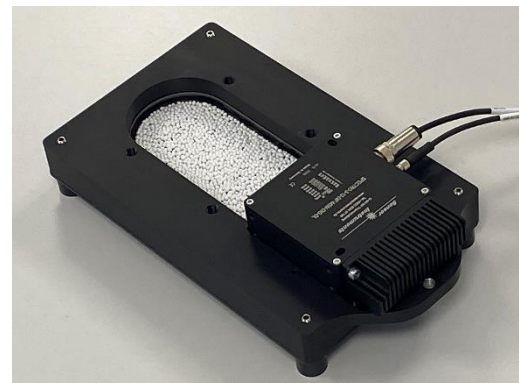


NORMALLICHTART D65, C, A



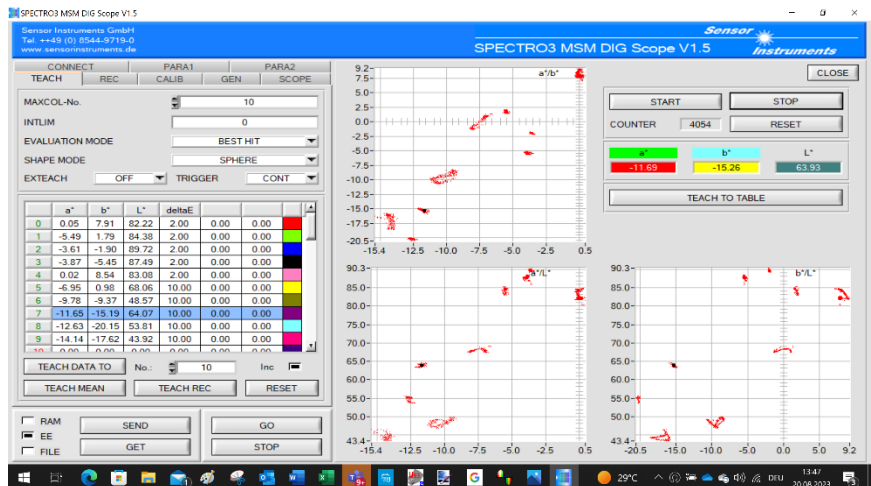
Diffus/0°-Methode

An dieser Stelle wird den etwas ausführlicheren Erläuterungen zu den Messsystemen in Kapitel 2.2 schon mal etwas vorgegriffen und mittels der Messeinheit SPECTRO-3-DIF/0°-CMU Messungen an verschiedenen Rezyklaten durchgeführt. Bei diesem Messsystem ist die Farbsensorik lediglich durch eine 9mm dicke Kronglasplatte vom jeweiligen Rezyklat getrennt. Insgesamt beträgt der Abstand zwischen Sensorik und Granulatoberfläche ca. 15mm. Die jeweilige Rezyklatprobe wird dabei in ein im Lieferumfang enthaltenes flaches Einschubfach gefüllt und anschließend unter der Kronglasplatte in den dafür vorgesehenen Schlitz geschoben. Nachdem die Messung gestartet worden ist, wird empfohlen, das Einschubfach in der Führung zu bewegen, dadurch kann der Einfluss, der zufällig vorhandenen Lage der einzelnen Granulat-körner, auf das Farbmessergebnis erheblich reduziert werden.



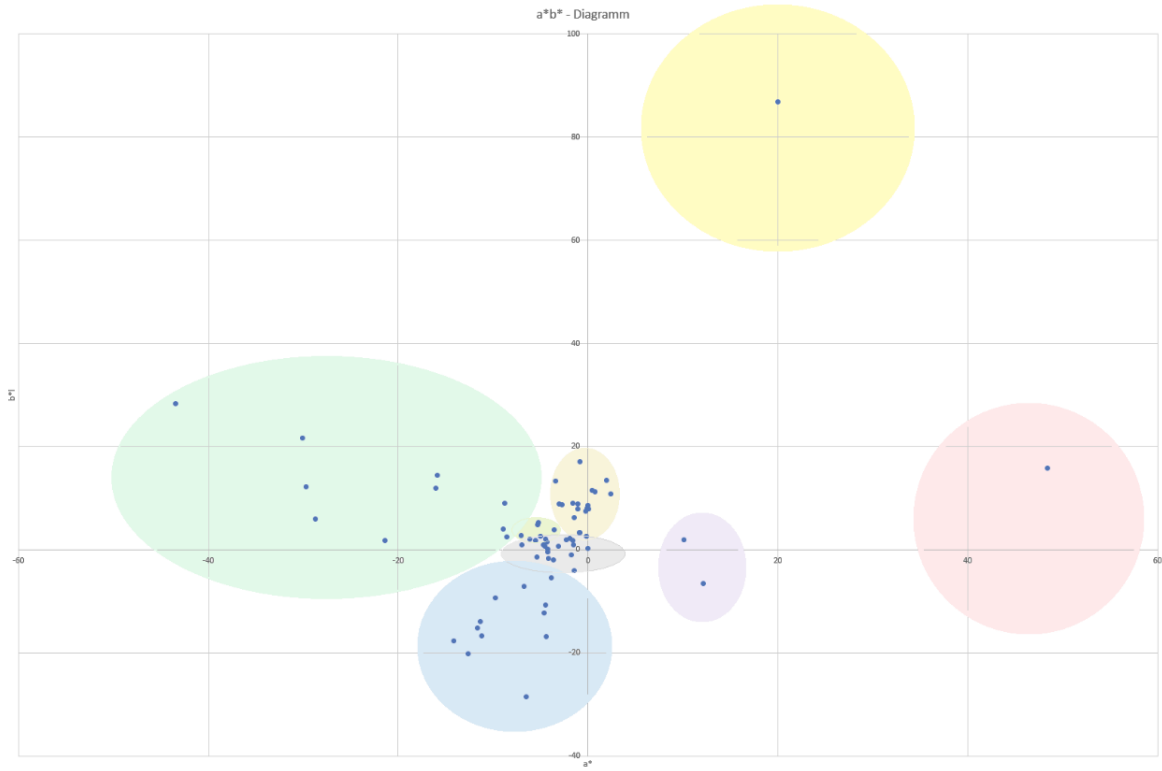
### 2.1.3.2.1 Farbmessungen an unterschiedlichen Rezyklaten mit dem SPECTRO-3-DIF/0° - System

Nach der Kalibrierung des Messsystems, hierzu gibt es auch verschiedenen Methoden, die unter 2.2 noch genauer erläutert werden, kann der eigentliche Messvorgang beginnen. Neben der DOCAL – Software kann hierfür auch die MSM DIG Scope V1.5 verwendet werden. Die roten Punktwolken stellen jeweils eine Rezyklatprobe dar, die in drei verschiedenen Ansichten des Farbraums ( $a^*b^*$ ,  $a^*L^*$  und  $b^*L^*$ ) gezeigt werden. Die Wolkenstruktur ergibt sich durch das Bewegen des Einschubfachs, in dem sich die jeweilige Rezyklatprobe befindet. Der Mittelwert aus jeder Probe wird in die Tabelle eingetragen. Im obigen Beispiel wurden 10 Rezyklatproben eingetragen. Die Ergebnisse aus sämtlichen, für die Tests zur Verfügung stehenden Rezyklatproben, wurden anschließend in eine EXCEL – Tabelle eingetragen. Die in den Fotos gezeigten Rezyklatproben stimmen dabei mit der Position in der EXCEL – Tabelle überein, sodass sich der Leser einen ersten Eindruck zwischen einer Rezyklatfarbe und dem dazugehörigen  $L^*a^*b^*$  - Wert machen kann. Wie zu erwarten war, konnte der Glanz sowie die Struktur der Messoberfläche mittels diffus/0° - Methode in Verbindung mit der Bewegung der Rezyklate, während des Messvorgangs recht gut kompensiert werden.

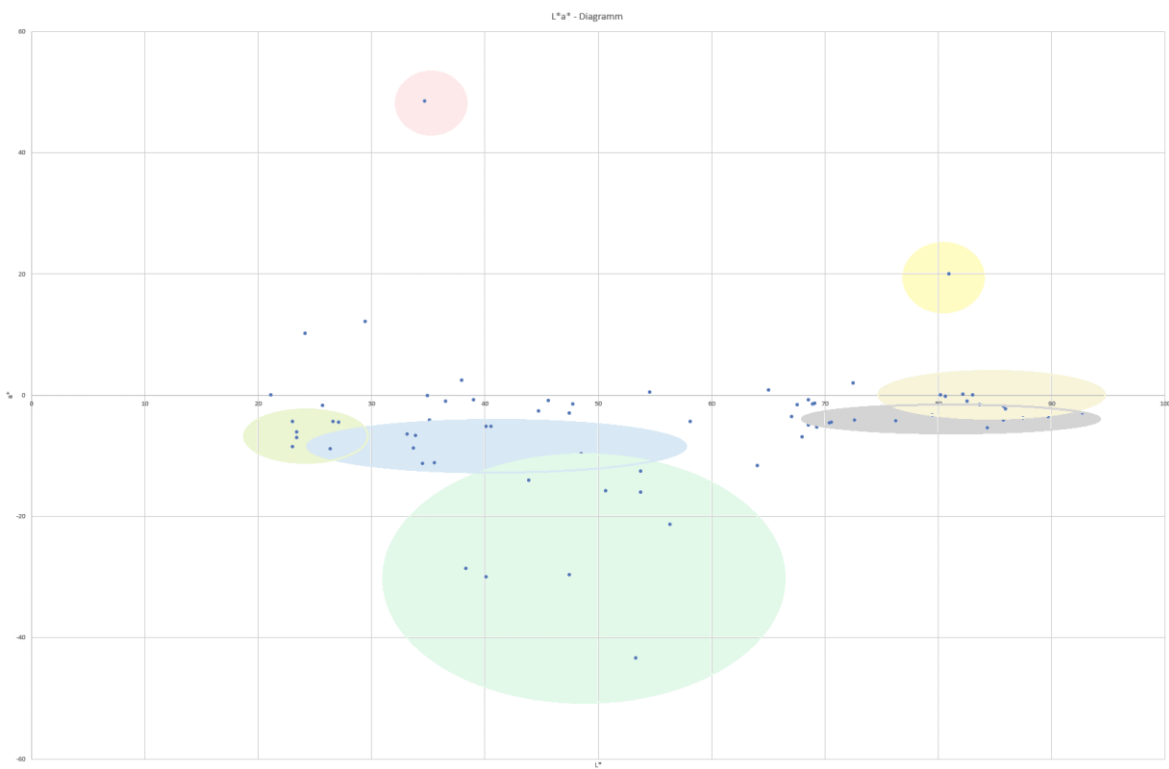


Die Wolkenstruktur ergibt sich durch das Bewegen des Einschubfachs, in dem sich die jeweilige Rezyklatprobe befindet.

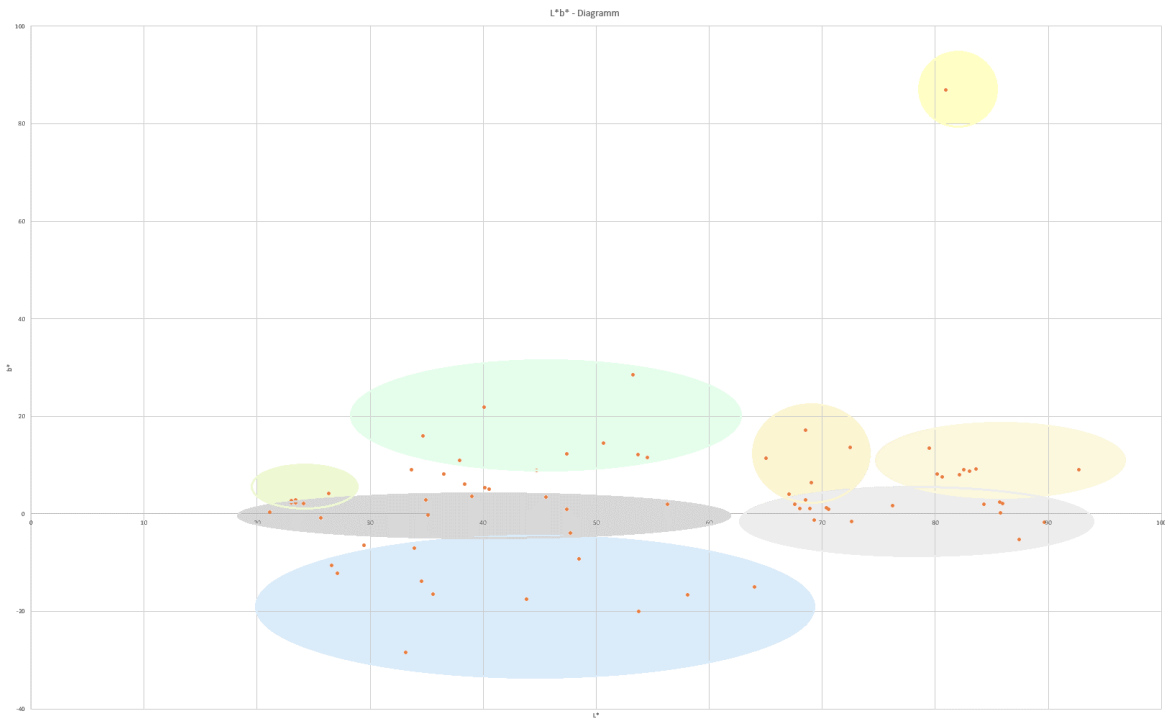
SPECTRO 3 MSM DIG V1.5 Nr.	REZYKLAT Nummer	L*	a*	b*
0	15	83,67	-1,62	8,99
1	52	80,22	-0,06	7,99
2	64	85,99	-2,3	1,96
3	18	92,76	-3,03	8,92
4	10	79,51	-3,42	13,36
5	54	70,46	-4,7	1,01
6	16	82,59	-1,09	8,93
7	46	80,67	-0,23	7,48
8	55	67,61	-1,61	1,86
9	53	70,61	-4,53	0,72
0	41	82,22	0,05	7,91
1	35	84,38	-5,49	1,79
2	1	89,72	-3,61	-1,9
3	30	87,49	-3,87	-5,45
4	36	83,08	0,02	8,54
5	61	68,06	-6,95	0,98
6	62	48,57	-9,78	-9,37
7	17	64,07	-11,65	-15,19
8	65	53,81	-12,63	-20,15
9	38	43,92	-14,14	-17,62
0	2	29,52	12,13	-6,55
1	3	34,75	48,43	15,8
2	25	33,95	-6,71	-7,12
3	7	33,19	-6,51	-28,55
4	23	35,63	-11,19	-16,63
5	66	40,6	-5,28	4,9
6	9	58,15	-4,38	-16,78
7	47	26,63	-4,47	-10,69
8	50	23,46	-7,03	2,71
9	6	34,58	-11,33	-13,95
0	21	56,35	-21,39	1,86
1	67	50,68	-15,88	14,42
2	11	53,33	-43,41	28,3
3	4	47,48	-29,68	12,17
4	44	38,4	-28,7	6,02
5	48	23,07	-8,55	2,52
6	68	23,46	-6,13	2,07
7	69	26,4	-8,92	4,01
8	51	40,19	-5,22	5,23
9	24	53,78	-16,04	11,99
0	70	34,97	-0,19	2,64
1	59	45,63	-0,9	3,3
2	72	39,07	-0,83	3,38
3	12	47,8	-1,48	-4,08
4	42	35,19	-4,23	-0,39
5	8	44,78	-2,71	8,68
6	14	36,59	-1,08	7,95
7	34	38,01	2,43	10,79
8	31	54,6	0,41	11,47
9	28	47,48	-3,09	0,73
0	5	69,12	-1,43	6,31
1	43	85,77	-1,92	2,26
2	13	72,53	1,96	13,52
3	37	65,06	0,76	11,2
4	22	68,6	-0,86	17,01
0	27	67,13	-3,56	3,85
1	33	85,8	-4,22	0,12
2	26	72,67	-4,15	-1,71
3	39	68,59	-5	2,67
4	20	76,27	-4,28	1,5
5	19	25,73	-1,78	-0,92
6	57	21,19	0,02	0,23
7	56	68,96	-1,51	0,96
8	63	69,34	-5,37	-1,45
9	45	80,98	19,97	86,82
5	73	40,15	-30,09	21,69
6	74	33,72	-8,8	8,97
7	75	23,07	-4,47	2,05
8	76	24,18	10,12	1,94
9	77	27,17	-4,59	-12,27



**a\*b\* - Diagram mit den a\*b\* - Messwerten der 70 verschiedenen Rezyklate**



**L\*a\* - Diagram mit den L\*a\* - Messwerten der 70 verschiedenen Rezyklate**



**L\*a\* - Diagramm mit den L\*a\* - Messwerten der 70 verschiedenen Rezyklate**



**Bild: Diverse Rezyklate, die während der Farbmessungen zur Verfügung standen.**

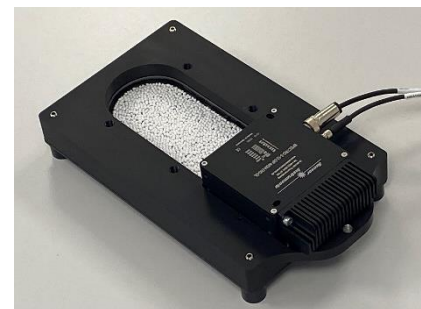
## 2.2 Sensorsysteme für die Farbkontrolle im Labor sowie Inline

Zwar werden fürs Labor auf dem Markt schon Handgeräte zur Farbermittlung von Rezyklaten angeboten und eingesetzt, die erreichbare Messgenauigkeit hält sich jedoch hierbei in Grenzen. Der Grund hierfür ist weniger in der Messgenauigkeit der Handgeräte zu suchen, bei einer planen und zudem homogenen Messoberfläche, liefern diese Geräte hervorragende Ergebnisse, sondern vielmehr in der Größe, der Form sowie der zufälligen Anordnung der einzelnen Granulatkörner sowie dem Lichtspot des Farbmessgerätes. Die typische Lichtspotgröße von Farbhandmessgeräten liegt bei 10mm im Durchmesser. Je nach Form (kugelförmig, elliptisch und zylinderförmig) der Pellets liegen deren Abmessungen im Bereich von 2mm und 5mm im Durchmesser bzw. in der Höhe. Dadurch ergibt sich bei einem Detektionsbereich von 10mm im Durchmesser ein nicht unbeträchtlich abgeschatteter Bereich, aus dem kein merklicher Lichtbeitrag zur Farbmessung erfolgt. Die Pellets erscheinen im Vergleich zur planen Oberfläche (beispielsweise Farbplättchen) somit dunkler, was sich bei der Farbmessung in Form eines niedrigeren  $L^*$  - Wertes widerspiegelt. Je nach Granulatoberfläche kommt es zudem zu störenden Lichtreflexionen. Ein Anteil davon gelangt wiederum in den Empfangsbereich der Sensorik und verfälscht dadurch die  $a^*b^*$  - Farbwerte. Durch die zufällige Anordnung der Pellets erscheint eine verlässliche Korrektur der  $L^*a^*b^*$  - Werte wenig zielführend zu sein, da sich von Messung zu Messung die Lage der einzelnen Körner ändert. Abhilfe schafft hierbei eine kontinuierliche Messung der Pellets während der Bewegung des Granulatstroms und zusätzlich ein großflächig beleuchteter Detektionsbereich. Sensor Instruments verwendet diesbezüglich zwei unterschiedliche Methoden, die sowohl bei den Inline – Systeme als auch bei den Laborgeräten zum Einsatz kommen. Bei der *Schauglas*methode



Glasscheibe abgedeckt. Somit kann nur Licht, unter  $0^\circ$  zur Normalen (senkrecht zur Glasabdeckung des Empfängers) den Farbdetektor erreichen. Messtechnisch bedingt muss hierbei der Sensor recht nahe (einige mm) am Schauglas angeordnet werden. Beide Verfahren ( $0^\circ/45^\circ$  und  $\text{diffus}/0^\circ$ ) eignen sich für Farbmessungen nach der *Schauglas*methode.

Bei der *Schauglas*methode trennt ein 9mm dickes sowie klares und zudem temperaturfestes Kronglas die Kunststoffpellets von der Sensorik. Die Pellets werden liegen dabei an der Innenseite des Schauglases an und werden an dieser durch Gravitation bzw. durch mechanische Bewegung entlanggeführt. Sensor Instruments verfügt sowohl über  $0^\circ/45^\circ$  - Farbsensoren als auch über  $\text{diffus}/0^\circ$  - Sensoren.  $0^\circ/45^\circ$  - Farbsensoren emittieren Weißlicht unter einem Winkel von  $0^\circ$  zur Normalen (senkrechter Lichtaustritt aus dem Sensorabdeckglas) und unter  $45^\circ$  wird mittels Empfängeroptik beobachtet. Die  $\text{diffus}/0^\circ$  - Sensoren hingegen verfügen über ein Cluster von Weißlicht – LEDs (D65 ähnlich), die wiederum von einer Volumenstreuungsscheibe (Milchglasscheibe) abgedeckt werden. Dadurch entsteht in idealer Weise diffus gestreutes homogenes Licht. Die kleine Empfängeröffnung ist dabei von der Streuscheibe umgeben und lediglich durch eine klare



Bei der *Direktmethode* befindet sich hingegen kein Gegenstand zwischen der Kunststoffgranulatoberfläche und der Sensorik. Hierbei eignet sich in erster Linie das  $0^\circ/45^\circ$  - Verfahren, da der Abstand zwischen Objektoberfläche und Sensorkopf 85mm beträgt, beim *diffus/ $0^\circ$*  - Verfahren würde der Abstand gerade mal 10mm betragen. Zwar wird bei der *Direktmethode* versucht, die Distanz zwischen Farbsensor und Kunststoffgranulatoberfläche mit Hilfe eines Abweisbleches konstant zu halten, aber das gelingt bestenfalls im Millimeterbereich. Bei einem Abstand von lediglich 10mm fällt eine Abstandsänderung jedoch in einem nicht unerheblichen Maße ins Gewicht und würde somit die Farbmessung beeinträchtigen.



## 2.2.1 Farbsensorsysteme fürs Labor

### 2.2.1.1 Farbsensorsysteme fürs Labor nach der Schauglasmethode

Wie eingangs schon erwähnt eignen sich für die *Schauglasmethode* beide Farbsensorverfahren, folgende Geräte stehen somit hierfür zur Verfügung:

- a) SPECTRO-3- $0^\circ/45^\circ$ -MSM-LAB-ANA-LF
- b) SPECTRO-3- $0^\circ/45^\circ$ -MSM-LAB-DIG-LF
- c) SPECTRO-3-DIF/ $0^\circ$ -MSM-LAB-DIG-LF

Diese Laborfarbmesssysteme verfügen über einen großen Trichter (large funnel -> LF) mit einem Fassungsvermögen von etwas mehr als 10 Liter. Das Gerät wird über ein externes +24V – Netzteil versorgt (optional verfügbar), über ein USB – oder Ethernet – Adapterkabel erfolgt die Verbindung zu einem PC. Mittels Schieber wird der Kanal in Richtung Auffangbox (9 Liter) geöffnet. Lichtschranken überwachen dabei die Präsenz der sog. Platzhalterplatte, den Kunststoffgranulatkanal sowie die Position des Schiebers und aktivieren die Messung, falls alle Bedingungen erfüllt sind. Nach Durchlauf der Kunststoffgranulatmenge wird die Messung automatisch gestoppt und es erfolgt ein Eintrag in das angewählte File der DOCAL – PC – Software. Ferner verfügt das System über eine Kalibriereinheit, hierzu muss lediglich die Platzhalterplatte entfernt und stattdessen die gewünschten Kunststoffkalibrierkarten der Reihe nach eingesetzt werden. Dabei kann zwischen verschiedenen Standards gewählt werden (RAL  $0^\circ/45^\circ$ , RAL diffus/ $0^\circ$  oder aber firmeninterne Standards). Mit Hilfe des Kalibrierassistenten wird der Bediener durch den Kalibriervorgang geleitet. Bislang konnte mit diesen Laborgeräten eine Messgenauigkeit von besser  $dE = 0.3$  nachgewiesen werden.

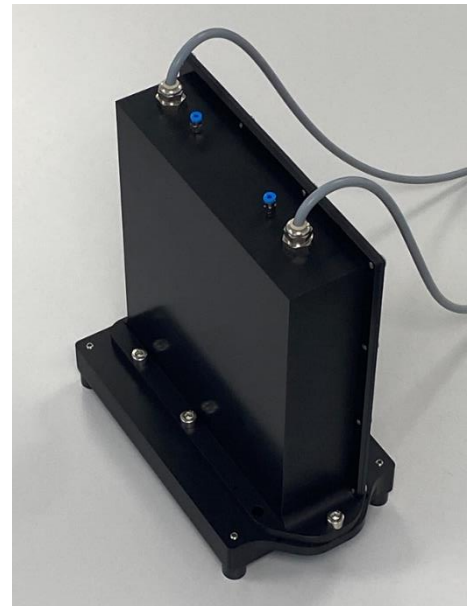


Weitere Farbmesssysteme, die sich der *Schauglasmethode* bedienen sind die beiden folgenden kompakten Geräte (Compact Measuring Unit -> CMU):

- a) SPECTRO-3- $0^\circ/45^\circ$ -MSM-CMU

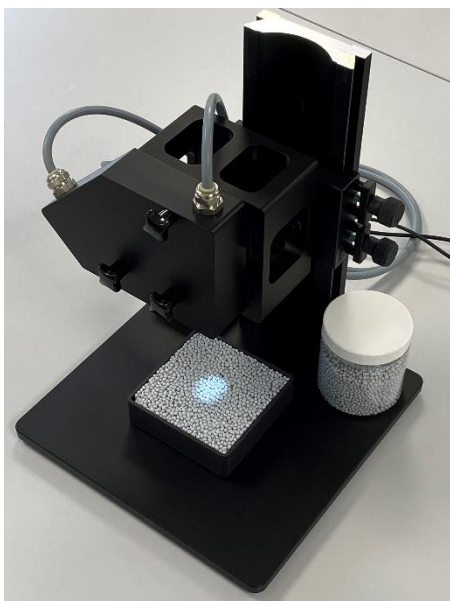
b) SPECTRO-3-DIF/0°-MSM-CMU

Erstere arbeitet nach dem 0°/45° - Verfahren, während bei der zweiten das diffus/0° - Verfahren angewandt wird. Beide Systeme zeichnen sich durch die äußerst kompakte Bauweise aus; zudem eignet sich das Farbmesssystem auch zum Kalibrieren der Farbmesssysteme. Dafür ist an der Einheit ein Schlitz vorgesehen, mit dessen Hilfe die Kunststoffkalibrierkarten (beispielsweise RAL- Kunststoffkarten) vor der Sensorik positioniert werden können. Für die Zufuhr des zu vermessenden Kunststoffgranulats ist ein weiteres Einschubfach vorgesehen. In den Einschub passen typ. 0.1 Liter Kunststoffpellets. Dieses Gerät kann somit auch bei Granulatproben eingesetzt werden, bei denen nur eine kleine Menge für die Farbtests zur Verfügung steht. Damit auch hierbei mit entsprechender Genauigkeit gemessen werden kann, muss der Einschub inkl. der Pellets, während der bewegt werden. Die Messergebnisse sind dadurch durchaus mit denen der ...-LF Geräte vergleichbar. Die Farbsensorik ist auch hierbei über eine serielle Schnittstelle (USB – Adapter bzw. Ethernet – Adapter) mit dem PC verbunden, die Spannungsversorgung erfolgt über ein externes +24V – Netzteil. Sowohl das +24V – Netzteil als auch die Schnittstellenadapter sind seitens Sensor Instruments als Zubehör verfügbar. Im direkten Vergleich der beiden Gerätetypen punktet die ...-LF Serie sicherlich in Sachen Bedienerkomfort, während die ...-CMU Serie preislich attraktiver ist.



2.2.1.2 Farbsensorsysteme fürs Labor nach der Direktmethode

Für die *Direktmethode* kommen nur Gerätetypen infrage, die nach dem 0°/45° - Verfahren arbeiten. Hierzu wird ein SPECTRO-3-FIO-MSM-DIG-DL in Verbindung mit dem Optik-Frontend KL-D-0°/45°-85-1200-D-S-A3.0 verwendet und auf ein hierfür geeignetes Stativ montiert (manual tripod -> MTP):



a) SPECTRO-3-0°/45°-MTP

Die zur Farbmessung vorgesehenen Kunststoffpellets werden in die im Lieferumfang enthaltene Schale gefüllt und anschließend während des Messvorgangs auf dem Stativtisch bewegt, sodass der Lichtspot verschiedene Bereiche der Granulatoberfläche sieht, um dadurch ein besseres Messergebnis zu erhalten. Auch mit dieser Methode können Messgenauigkeiten von  $dE = 0.3$  erreicht werden. Kalibriert wird hierbei auf ein Granulat, von dem Proben in Form von Kunststoffplättchen angefertigt und mit einem Farbmessgerät gemessen worden sind. Die  $L^*a^*b^*$  - Werte werden anschließend in die Kalibriertabelle als Sollwerte eingegeben, während die dazu passenden Granulate im Farbmesssystem platziert und unter Bewegung gemessen werden. Natürlich eignet sich auch dieses System zur Kalibrierung auf die RAL – Karten. In diesem Fall werden die infrage kommenden RAL – Karten der Reihe nach auf die Schale gelegt, in der sich normalerweise die

Kunststoffpellets befinden.

### 2.2.1.3 Farbmesssysteme für mobile Labor nach der Schauglasmethode

Um schneller an die Farbmessergebnisse zu gelangen, kann auf die mobile Laborversion zurückgegriffen werden. Auch diese gibt es mit 0°/45° - sowie diffus/0° - Verfahren:

- a) SPECTRO-3-0°/45°-MSM-MOBILE-DIG-P
- b) SPECTRO-3-0°/45°-MSM-MOBILE-ANA-P
- c) SPECTRO-3-DIF/0°-MSM-MOBILE-DIG-P

Die mobile Einheit verfügt über eine leistungsstarke Batterie und kann damit unabhängig vom 220V – Netz betrieben werden. Des Weiteren ist ein Panel – PC mit integriert. Optional kann auch ein Drucker hinzugefügt werden. Auch diese Geräte können über die DOCAL – Software bedient werden. Ein Ladegerät zum Laden der Li-Ion Batterie ist im Lieferumfang enthalten.

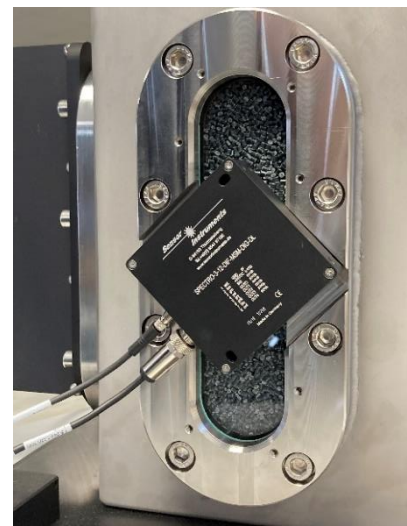


### 2.2.2 Farbsensorsysteme für den Inline – Einsatz

#### 2.2.2.1 Farbsensorsysteme für den Inline – Einsatz nach der Schauglasmethode



Inline die Produktdaten zu erfassen ist naturgemäß die schnellste Methode, um zeitnah auf eventuelle Abweichungen der Produktqualität reagieren zu können. Sensor Instruments verfolgt hierbei den Ansatz, Inline mit der gleichen Sensorik zu arbeiten, wie sie auch im Laborbereich zum Einsatz kommt. Dadurch sind die aufgenommenen Messwerte vergleichbarer und zudem muss sich der Bediener nicht in unterschiedliche Messgeräte einarbeiten. Zunächst muss bei einer Inline – Messung eine geeignete Position zur Anbringung des Schauglases gefunden werden. Sensor Instruments bietet hierzu neben den Schaugläsern auch die dazu passenden Edelstahlrahmen an, der entweder an die dafür vorgesehene Stelle der Anlage angeschweißt oder ggf. angeschraubt wird. Die Edelstahlrahmen werden entsprechend zur Aufnahme der passenden Sensorik präpariert und auf der innenliegenden Seite (Granulatseite) wird dafür gesorgt, dass die Pellets an der Schauglas - Innenseite möglichst laminar entlanggleiten. An bestimmten Orten der Anlage kann sowohl das Produkt als auch der Einbaubereich Temperaturen erreichen, denen ein optoelektronisches Messsystem nicht standhalten könnte, weswegen Sensor Instruments auch Systeme einsetzt, bei denen der optoelektronische Part vom optomechanischen Frontend separiert wird. Die Verbindung beider Komponenten erfolgt mittels robuster, sowie temperaturbeständiger Lichtleiter. Damit wird erreicht, dass sowohl das optomechanische Frontend inkl. dem Schauglas Temperaturen bis zu 150°C ausgesetzt werden können. Auf die folgenden zwei Systeme, beide nutzen das 0°/45° - Verfahren, trifft das zu:



Die Verbindung beider Komponenten erfolgt mittels robuster, sowie temperaturbeständiger Lichtleiter. Damit wird erreicht, dass sowohl das optomechanische Frontend inkl. dem Schauglas Temperaturen bis zu 150°C ausgesetzt werden können. Auf die folgenden zwei Systeme, beide nutzen das 0°/45° - Verfahren, trifft das zu:



- a) SPECTRO-3-0°/45°-MSM-INLINE-DIG
- b) SPECTRO-3-0°/45°-MSM-INLINE-ANA

Bewegt man sich hingegen im „normalen“ Temperaturbereich (bis 60°C), kann auch ein System das nach dem diffus/0° - Verfahren arbeitet, eingesetzt werden:

- a) SPECTRO-3-DIF/0°-MSM-INLINE-DIG



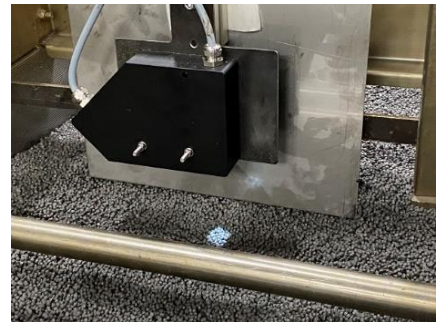
Die Farbsensorik SPECTRO-3-20-DIF-MSM-DIG-DL wird hierbei direkt an das dafür vorgesehene Schauglas montiert. Für beide Systeme steht eine Kalibriereinheit zur Verfügung, mit deren Hilfe auch eine Kalibrierung der Messsysteme vor Ort erfolgen kann. Die Kalibriereinheit ist dafür vorgesehen, RAL – Kunststoffkarten aufzunehmen, die Kalibrierung erfolgt über den Kalibrierassistenten der DOCAL – Software. Kundenspezifische Kalibrierkarten können mit speziellen Adapterrahmen ebenfalls von der Kalibriereinheit aufgenommen werden. An die Kalibriereinheit CALIB-0°/45° können sowohl die 0°/45° - Systeme als auch die diffus/0° - Einheit montiert werden. Zur



Anzeige der Farbmesswerte sowie zur Übertragung der Messdaten, steht ein Panel-PC zur Verfügung. Entsprechende Schnittstellen (3x USB und 1x Ethernet) stehen dabei zur Auswahl. Die robuste Ausführung des SI-PCC-500-15“, der Panel-PC befindet sich in einem Edelstahlgehäuse, erlaubt den Einsatz vor Ort an den Anlagen in unmittelbarer Nähe der Inline – Systeme.

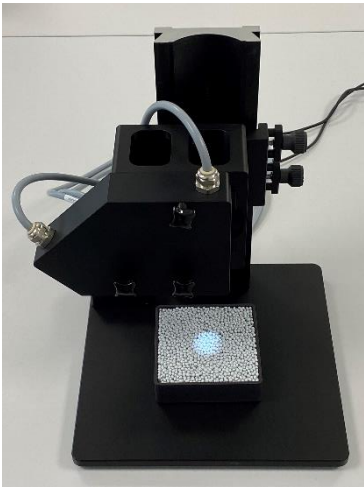
### 2.2.2.2 Farbsensorsysteme für den Inline – Einsatz nach der Direktmethode

Nicht in allen Betrieben und an allen Anlagen ist weder gewünscht noch möglich, Inline – Systeme in Verbindung mit Schaugläsern zu platzieren. Vielmehr sollte an den Stellen gemessen werden, an denen das Kunststoffgranulat über eine Vibrationsförderlinie transportiert wird. Bedingt durch die Höhenschwankung des Granulatstroms, diese kann zwar durch ein integriertes Abweisblech eingedämmt, aber nicht gänzlich vermieden werden, kommt hier das 0°/45° - Verfahren infrage, da diese Systeme über einen größeren Arbeitsabstand (85 mm) verfügen, wodurch Höhenschwankungen im Millimeterbereich nicht so stark ins Gewicht fallen. Mit Hilfe des optomechanischen Frontends KL-D-0°/45°-85-1200-D-S-A3.0 kann auch an Anlagen, an denen höhere Temperaturen (bis zu 150°C) herrschen, gearbeitet werden. Die optoelektronische Kontrolleinheit SPECTRO-3-FIO-MSM-DIG-DL sollte dabei an einem Ort platziert werden, bei dem die Umgebungstemperaturen unter 60°C liegen. Standardmäßig ist das optomechanische Lichtleiterfrontend mit einem 1.2m langen Lichtleiter ausgerüstet. Es stehen aber auch Versionen mit einem 3m (KL-D-0°/45°-85-3000-D-S-A3.0) sowie einem 5m langen Lichtleiter (KL-D-0°/45°-85-5000-D-S-A3.0) zur Verfügung. Die Kontrollelektronik wird mittels USB – Adapter an den Panel-PC SI-PCC-500-15“ angedockt. Die Messdatenübertragung vom Panel-PC an die QS erfolgt via Ethernet. Als Kalibriereinheit dient hierbei das Laborsystem SPECTRO-3-0°/45°-MSU, damit ein Kalibriervorgang erfolgen kann, muss das optomechanische Frontend KL-D-0°/45°-85-1200-D-S-A3.0 inkl. der



an denen höhere Temperaturen (bis zu 150°C) herrschen, gearbeitet werden. Die optoelektronische Kontrolleinheit SPECTRO-3-FIO-MSM-DIG-DL sollte dabei an einem Ort platziert werden, bei dem die Umgebungstemperaturen unter 60°C liegen. Standardmäßig ist das optomechanische Lichtleiterfrontend mit einem 1.2m langen Lichtleiter ausgerüstet. Es stehen aber auch Versionen mit einem 3m (KL-D-0°/45°-85-3000-D-S-A3.0) sowie einem 5m langen Lichtleiter (KL-D-0°/45°-85-5000-D-S-A3.0) zur Verfügung. Die Kontrollelektronik wird mittels USB – Adapter an den Panel-PC SI-PCC-500-15“ angedockt. Die Messdatenübertragung vom Panel-PC an die QS erfolgt via Ethernet. Als Kalibriereinheit dient hierbei das Laborsystem SPECTRO-3-0°/45°-MSU, damit ein Kalibriervorgang erfolgen kann, muss das optomechanische Frontend KL-D-0°/45°-85-1200-D-S-A3.0 inkl. der

Kontrollelektronik SPECTRO-3-FIO-MSM-DIG-DL zunächst von der Anlage abmontiert und auf das Messstativ der SPECTRO-3-0°/45°-MSU positioniert.



Kalibriert wird hierbei direkt aufs Kunststoffgranulat, vom dem auch Spritzgussplättchen, die zuvor mit Farbhandgeräten gemessen worden sind, vorhanden sein sollten. Mit Hilfe des Kalibrierassistenten in der DOCAL – PC – Software können zum einen die  $L^*a^*b^*$  - Farbwerte der Kunststoffplättchen in die Kalibriertabelle eingetragen werden. Die dazu passenden XYZ – Farbwerte werden nach Platzieren der Schale mit den jeweiligen Pellets und Bewegen der Schale nach Starten der Messwertaufnahme ermittelt und anschließend in die Kalibriertabelle eingetragen. Anstatt der Kunststoffgranulate kann alternativ dazu auch auf die RAL – Kunststoffkarten kalibriert werden. Diese können dann in der umgestülpten Schale platziert werden. Der Abstand zum Sensorfrontend beträgt dann 85mm. Die erforderlichen RAL – Karten können so der Reihe nach eingelesen werden. Gute Dienste leistet hierbei wiederum der Softwareassistent der DOCAL – PC – Software.



Der Abstand zum Sensorfrontend beträgt dann 85mm. Die erforderlichen RAL – Karten können so der Reihe nach eingelesen werden. Gute Dienste leistet hierbei wiederum der Softwareassistent der DOCAL – PC – Software.

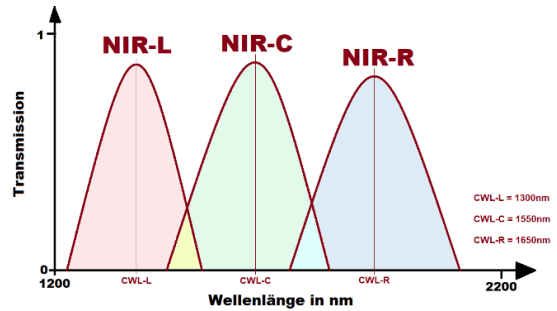
### 3. NIR - Sensorsysteme für die Kontrolle des Kunststofftyps im Labor sowie Inline

#### 3.1 Das NIR – Dreibereichsverfahren – ein bewährtes Sensorprinzip entlehnt aus dem sichtbaren Wellenlängenbereich

Üblicherweise werden im Recyclingbereich zur Separation von verschiedenen Kunststoffen Offner – Spektrographen eingesetzt und bilden das Herzstück von sog. Hyperspektralkameras. Mit diesen Kameras kann in Verbindung mit einer breitbandigen NIR – Lichtquelle (leistungsstarke Halogenlampen) eine moderate Ortsauflösung und zugleich eine gute spektrale Auflösung der zu untersuchenden Objekte erreicht werden. In einem etwas anderen Aufbau wird das Licht einer leistungsstarken Halogenlampe mittels Optik auf die Spiegel eines Polygonscanners gerichtet und im weiteren Verlauf trifft das gebündelte NIR – Licht auf ein Objekt; dieses wiederum reflektiert einen Teil des nicht absorbierten Lichtes via Polygonscanner auf eine Empfängeroptik und von dieser auf den weiteren Weg auf die Eintrittsblende eines NIR – Gitterspektrometers. Der Vorteil beider Verfahren liegt in der spektralen Erfassung eines großen NIR – Wellenlängenbereiches bei zusätzlicher Ortsauflösung. Dadurch wird es ermöglicht, verschiedene Objekte, die beispielsweise auf einem Förderband transportiert werden und die zeitgleich, jedoch nebeneinander liegend den Detektionsbereich der Sensorik durchschreiten, als separate Objekte erkannt und zugleich spektral unterschieden werden.

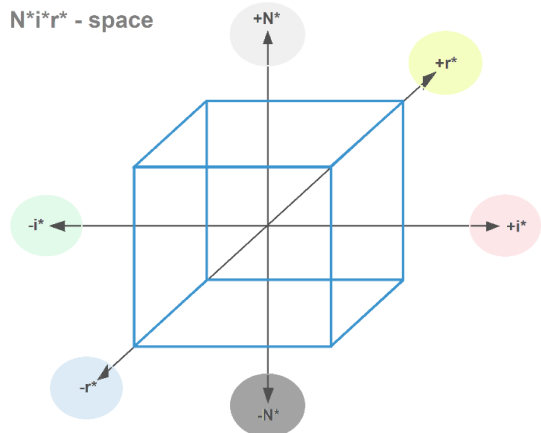
Bei Kunststoffgranulaten hingegen geht es weniger um die spektrale Untersuchung jedes einzelnen Pellets, sondern vielmehr um ein integrales Verfahren, das möglichst viele Kunststoffpellets während eines Messvorganges erfassen und damit eine möglichst verlässliche Information über die Qualität bzw. die Reinheit des Produktes liefern kann. Auf die aufwendige Technik, die zur zusätzlichen Ermittlung der lokalen Position notwendig wäre, kann somit verzichtet werden. Prinzipiell könnte hierbei ein NIR – Spektrometer inkl. Optik und NIR – Breitbandbeleuchtung, jedoch ohne Ortsauflösung, in Betracht gezogen werden, was sich dennoch als recht kostenintensive Lösung herausstellen würde.

Eine kostengünstigere Alternative hierzu stellt ein System dar, bei dem das Dreibereichsverfahren zum Einsatz kommt. Bei diesem Messverfahren werden drei verschiedene NIR – LED – Typen, jeder LED – Typ deckt dabei einen bestimmten Wellenlängenbereich im NIR (dem nahen Infrarotwellenlängenbereich) ab, auf das zu untersuchende Kunststoffgranulat gerichtet und mittels einem breitbandigen NIR – Empfänger wird ein Teil des von den Pellets nicht absorbierten Lichts detektiert, konvertiert und einer Auswerteelektronik zugeführt. Analog zur Dreibereichsfarbauswertung im sichtbaren Wellenlängenbereich erfolgt auch hier eine Berechnung der Farbwerte aus den Farbrohdaten NIR-L, NIR-C und NIR-R (analog zu ROT-X, GRÜN-Y und BLAU-Z):  $N^*i^*r^*$  (analog zu  $L^*a^*b^*$ ).



$N^*$  informiert dabei über den Grauwert des zu untersuchenden Granulats. Je höher der  $N^*$  - Wert, desto heller das Granulat.

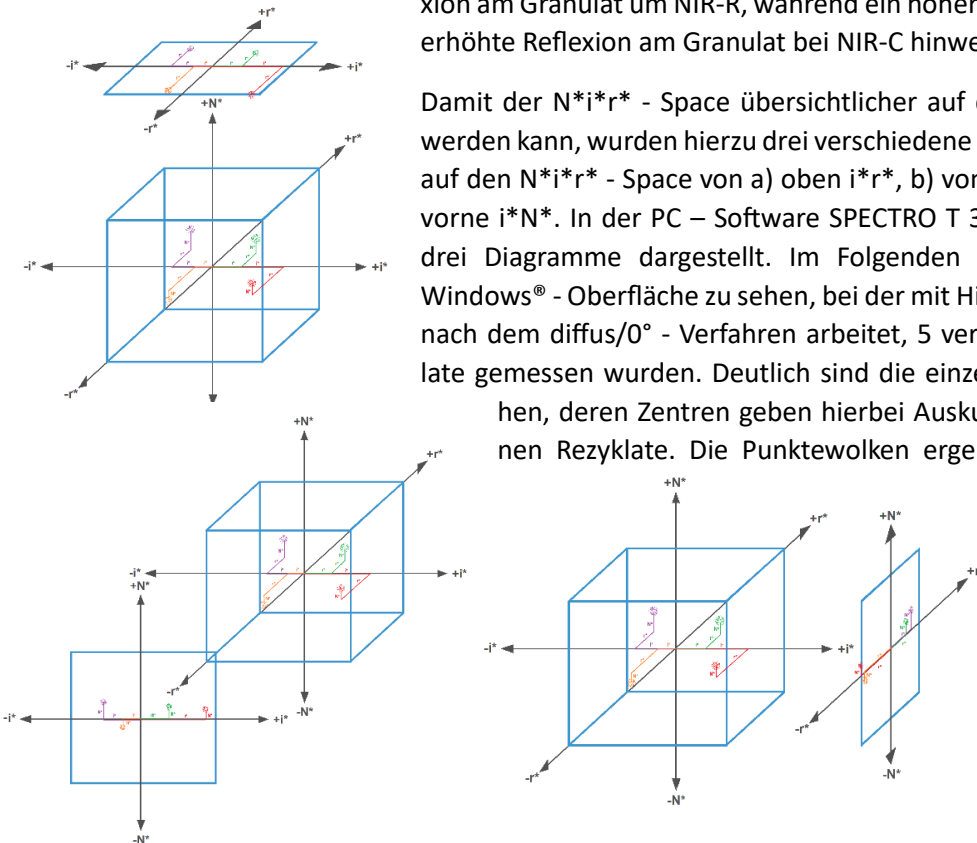
$N^*i^*r^*$  - space



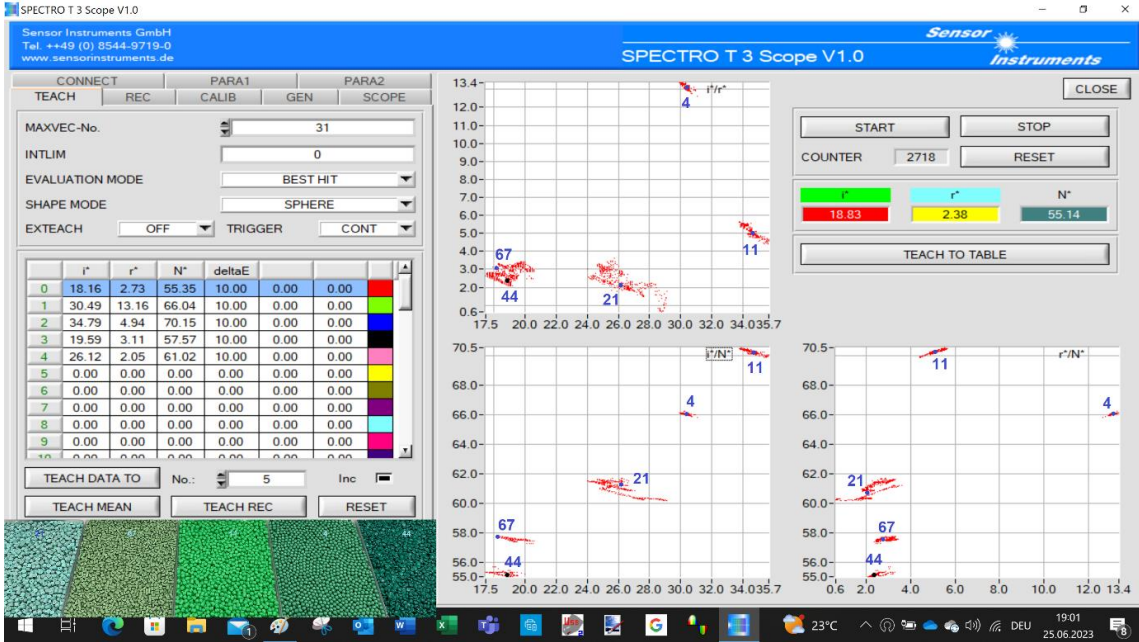
$i^*$  gibt Auskunft über den Reflexionsverlauf zwischen dem mittleren NIR – (mit einer Zentralwellenlänge von 1550nm) und dem kurzen NIR – Wellenlängenbereich (1300nm – Zentralwellenlänge). Ein hoher negativer  $i^*$  - Wert informiert dabei über eine verstärkte Reflexion am Granulat bei NIR-C, während ein hoher positiver  $i^*$  - Wert auf eine verstärkte Reflexion am Granulat bei NIR-L hindeutet.

$r^*$  zeigt den Reflexionsverlauf zwischen dem mittleren NIR – Wellenlängenbereich (1550nm – Zentralwellenlänge) und dem langen NIR – Wellenlängenbereich (mit einer Zentralwellenlänge von 1650nm). Ein hoher negativer  $r^*$  - Wert informiert dabei über eine verstärkte Reflexion am Granulat um NIR-R, während ein hoher positiver  $r^*$  - Wert auf eine erhöhte Reflexion am Granulat bei NIR-C hinweist.

Damit der  $N^*i^*r^*$  - Space übersichtlicher auf dem Bildschirm dargestellt werden kann, wurden hierzu drei verschiedene Ansichten angefertigt: Blick auf den  $N^*i^*r^*$  - Space von a) oben  $+i^*r^*$ , b) von der Seite  $r^*N^*$  und c) von vorne  $i^*N^*$ . In der PC – Software SPECTRO T 3 Scope V1.0 werden diese drei Diagramme dargestellt. Im Folgenden ist ein Screenshot dieser Windows® - Oberfläche zu sehen, bei der mit Hilfe eines NIR – Sensors, der nach dem diffus/0° - Verfahren arbeitet, 5 verschiedene Kunststoffrezyklate gemessen wurden. Deutlich sind die einzelnen Punktwolken zu sehen, deren Zentren geben hierbei Auskunft über die 5 verschiedenen Rezyklate. Die Punktwolken ergeben sich durch die unterschiedliche Lage der Pellets im Erfassungsbereich der Sensorik, während einer vollständigen Messung. Nach Abschluss einer Messung wird der Mittelwert der jeweiligen Punktwolke ermittelt, daraus ergeben sich dann die



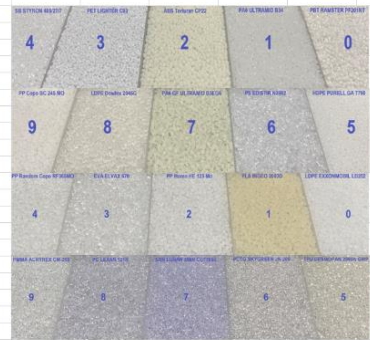
jeweiligen Zentren. Die SPECTRO-T-3-Scope V1.0 – PC – Software dient in erster Linie zur Parametrierung der Sensorik, sowie zur tiefgehenden Analyse der einzelnen Granulate. Mit der auch hier verfügbaren DOCAL – Software werden die jeweiligen Zentren bereits ermittelt und das Ergebnis in Form eines  $N^*i^*r^*$  - Wertes numerisch angezeigt. Die Abweichungen in  $N^*$  ( $dN^*$ ), in  $i^*$  ( $di^*$ ) sowie in  $r^*$  ( $dr^*$ ) werden sowohl numerisch als auch graphisch in den jeweiligen Diagrammen dargestellt.



**PC – Software SPECTRO T 3 Scope V1.0**

Mit dem diffus/0° - Verfahren und unter Nutzung der Schauglasmethode wurden bereits etliche Rezyklate aber auch Neuware – Granulate untersucht. Eine kurze Zusammenfassung ist in den folgenden Diagrammen zu sehen:

GRANULAT - BEZEICHNUNG	d <sup>20</sup> <sub>20</sub> rel. Dichte zu Wasser	Kunststoffart	$N^*$	$i^*$	$r^*$	SPECTRO T3 Scope V1.0 Nummer
PBT RAMSTER PF201INT	>1	PBT	84,49	57,25	17,03	0
PA6 ULTRAMID B3K	>1	PA6	45,58	112,64	0,23	1
ABS TERLURAN GP22	>1	ABS	73,01	49,84	15,7	2
PET LIGHTER C93	>1	PET	81	59,51	18,86	3
SB STYRON 485/27/7	>1	PS	75,14	42,11	16,13	4
HDPE PURELL GA 7760	<1	HDPE	69,34	35,49	-2,75	5
PS EDISTR N3982	>1	PS	71,45	40,01	16,52	6
PA6 GF ULTRAMID B3EG6	>1	PA6	51,94	80,84	0	7
LLDPE DOWLEX 2045G	<1	LLDPE	64,6	29,24	-0,77	8
PP COPO BC 245 MO	<1	PP	69,89	42,11	5,58	9
LDPE EXXONMOBIL LD252	<1	LDPE	65,31	34,76	-1,54	0
PLA INGEO 2003D	>1	PLA	67,26	47,06	10,84	1
PP HOMO HE 125 MO	<1	PP	67,26	36,13	5,88	2
EVA ELVAX 670	<1	EVA	62,7	33,33	-0,1	3
PP RANDOM RF 365 MO	<1	PP	65,01	37,87	4,55	4
TPU DESMOPAN 2590A GMP	>1	TPU	51,44	79,62	2,06	5
PCTG SKYGREEN JN200	>1	PCT-G	69,97	41,87	13,9	6
SAN LURAN 358N CC77850	>1	Acrylester	75,39	36,44	16,46	7
PC LEXAN 121R	>1	PC	69,65	42,97	17,94	8
PMMA ACRYREX CM-205	>1	PMMA	64,15	48,65	12,66	9



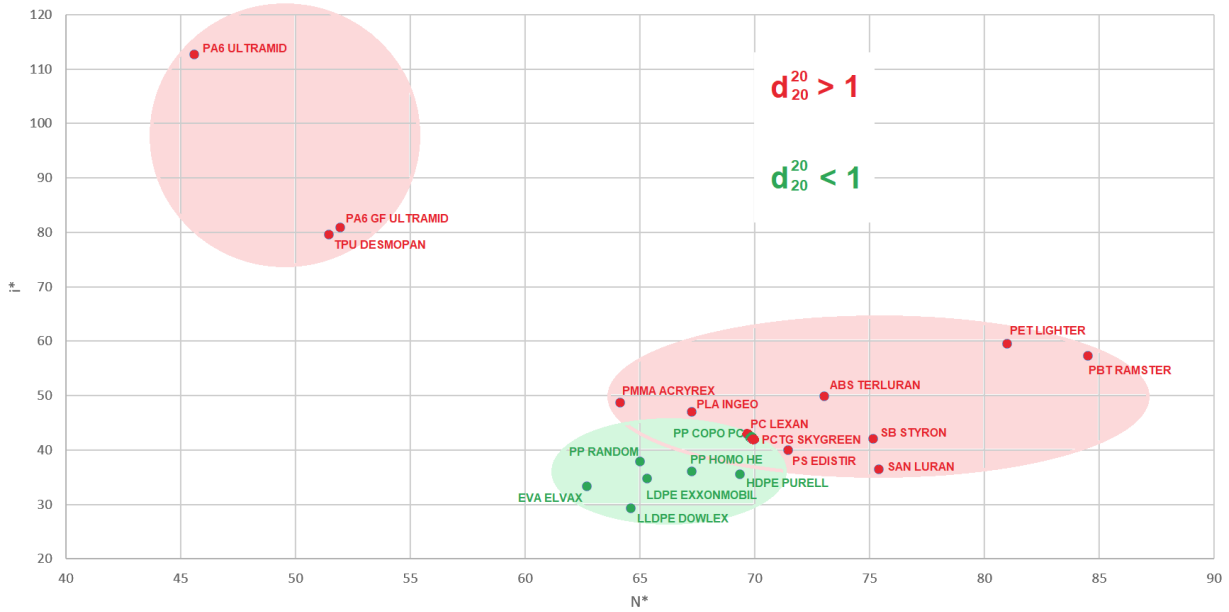
**$N^*i^*r^*$ -Messwerte an verschiedenen Virgin-Materialien**

$i^*r^*$  - Diagramm Neuware - Granulat



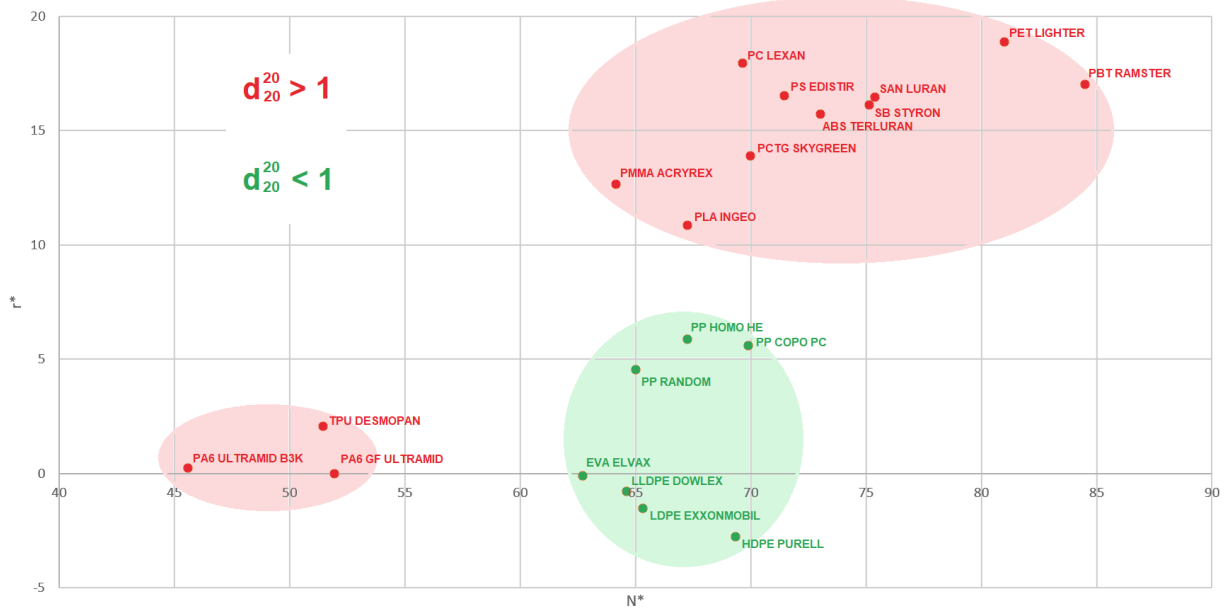
$i^*r^*$ -Diagramm

$N^*i^*$  - Diagramm Neuware - Granulat



$N^*i^*$ -Diagramm

N\*r\*- Diagramm Neuware - Granulat



**N\*r\*-Diagramm**

Bei den untersuchten Neuware-Granulaten sind die Unterschiede der einzelnen Typen recht gut zu erkennen. Vor allem im  $i^*r^*$  - Diagramm sind die einzelnen Gruppen deutlich voneinander getrennt zu sehen. Aber auch bei den Messungen an den Rezyklaten konnte recht gute Ergebnisse erzielt werden:

REZYKLAT - BEZEICHNUNG	$d_{20}^{rel}$ rel. Dichte zu Wasser	Kunststoffart	N*	i*	r*	SPECTRO T3 Scope V1.0 Nummer
10 BEIGE-WEISS SEMITRANSSPARENT	<1	PO	52,86	81,39	-2,09	0
18 WEISS	>1	PET	72,06	50,66	16,5	1
64 WEISS SEMITRANSSPARENT	<1		69,6	30,52	-0,92	2
52 BEIGE	>1		80,69	22,95	0,66	3
15 WEISS	>1	PET	75,05	41,81	16,76	4
53 GRAU	>1	PET	75,64	45,84	16,11	5
55 GRAU-BEIGE	>1		74,76	45,04	-1,16	6
46 HELLBEIGE	<1		81,28	23,99	1,05	7
16 HELLBEIGE	<1	PO	76,63	33,39	0,66	8
54 GRAU	>1	PET	75,54	46,45	15,93	9
36 BEIGE	<1		81,85	25,24	1,57	0
30 HELLBLAU	>1		71,06	37,69	14,86	1
1 WEISS	>1	PET	83,04	60,67	19,04	2
35 HELLGRÜNBLAU	>1		77,39	43,73	16,55	3
41 BEIGE	<1		81,3	24,99	0,29	4
38 HELLBLAU	<1		65,05	22,37	3,81	5
65 HELLBLAU	>1	PET	77,56	39,79	16,46	6
17 HELLBLAU	>1	PET	78,82	46,39	17,03	7
62 GRAUBLAU	>1		62,49	24,78	11,8	8
61 HELLBLAU MIX	>1	PET	75	41,6	16,41	9
23 BLAU TRANSPARENT	>1		60,2	34,06	14	0
7 BLAU	<1	PO	59,54	17,91	0,71	1
25 GRAUBLAU	<1	PO	39,51	13,76	1,51	2
3 ROT	>1		56,23	94,09	2,1	3
2 VIOLETT	>1		54,23	90,88	2,31	4
6 BLAU	<1		48,61	17,73	2,36	5
50 DUNKELGRÜN	<1		34,74	6,59	1,21	6
47 DUNKELBLAU	<1		37,81	9,83	1,54	7
9 HELLBLAU	>1	PET	73,57	36,68	15,64	8
66 OLIV	>1		61,07	21,18	10,44	9
44 GRÜN	<1		55,35	18,16	2,73	0
4 GRÜN	>1		66,04	30,49	13,16	1
11 HELLGRÜN	<1	PO	70,15	34,79	4,94	2
67 OLIV	<1		57,57	19,59	3,11	3
21 TÜRKIS	<1	PO	61,02	26,12	2,05	4

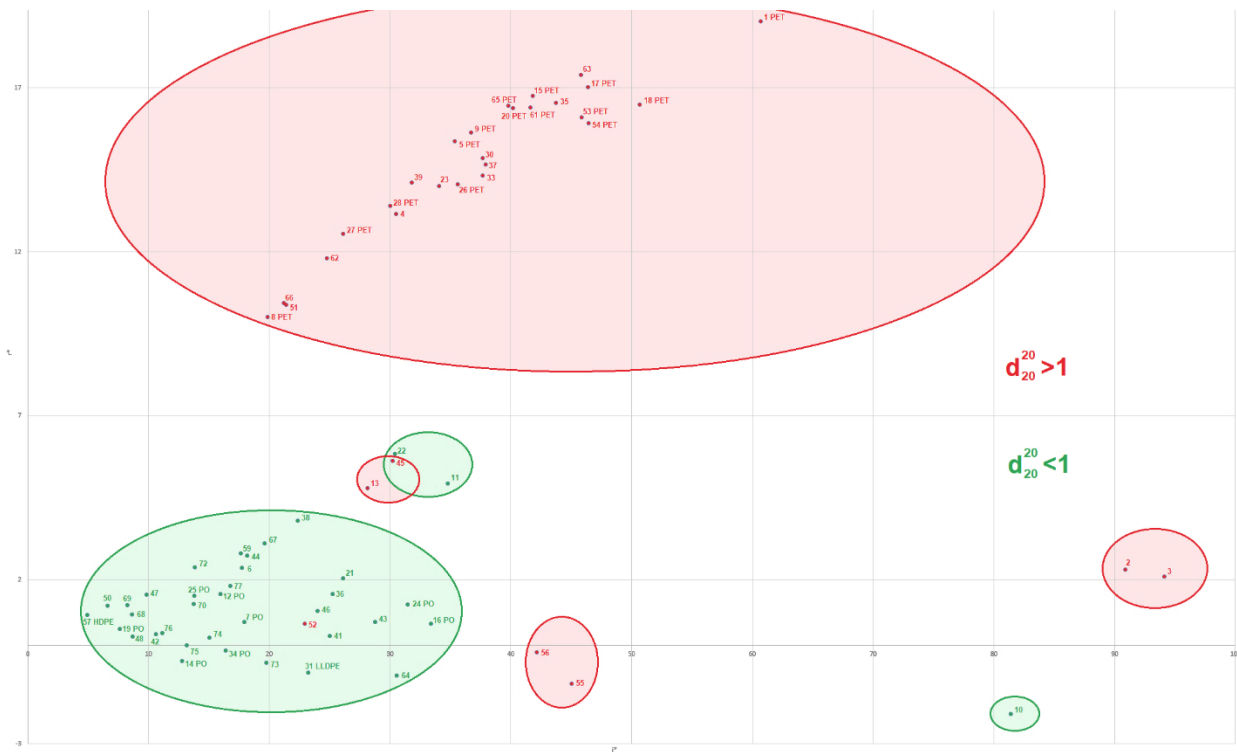


**N\*i\*r\*-Messwerte bei verschiedenen Virgin-Materialien – Teil-1**

24 TÜRKIS	<1	PO	76,34	31,46	1,25	5
51 OLIV	>1		60,8	21,39	10,38	6
69 DUNKELGRÜN	<1		35,85	8,24	1,23	7
68 DUNKELGRÜN MIX	<1		34,59	8,64	0,95	8
48 DUNKELGRÜN	<1		34,4	8,67	0,27	9
42 GRAUGRÜN	<1		45,38	10,59	0,35	0
12 GRAU	<1	PO	42,18	15,93	1,57	1
72 GRAUBEIGE	<1		46,15	13,85	2,38	2
59 GRAU	<1		52,07	17,61	2,81	3
70 DUNKELGRAU	<1		41,65	13,73	1,26	4
28 GRAU TRANSPARENT	>1	PET	63,24	30	13,4	5
31 BEIGE	<1	LLDPE	58,02	23,22	-0,83	6
34 BRAUN	<1	PO	52,78	16,36	-0,15	7
14 OLIV	<1	PO	51,69	12,79	-0,48	8
8 OLIV TRANSPARENT	>1	PET	52,7	19,87	10,01	9
22 BEIGE TRANSPARENT	<1	PO	63,61	30,4	5,85	0
37 BEIGE	>1		70,25	37,9	14,67	1
13 BEIGE	>1		74,14	28,11	4,79	2
43 WEISS TRANSPARENT	<1		69,08	28,75	0,71	3
5 BEIGE	>1	PET	75,19	35,34	15,37	4
20 HELLGRAU	>1	PET	77,56	40,16	16,39	5
39 GRÜNGRAU	>1		72,35	31,8	14,11	6
26 GRAU	>1	PET	68,05	35,61	14,06	7
33 GRAUWEISS MIX	>1		69,54	37,66	14,32	8
27 GRÜNGRAU	>1	PET	65,69	26,09	12,56	9
45 GELB	>1		89,91	30,18	5,63	0
63 GRAU	>1		79,53	45,78	17,4	1
56 HELLGRAU	>1		74,45	42,14	-0,2	2
57 SCHWARZ	<1	HDPE	32,95	4,91	0,93	3
19 DUNKELGRAU	<1	PO	34,64	7,63	0,51	4
77 BLAU FC 387	<1		28,48	16,75	1,82	5
76 ROT FC 071	<1		38,46	11,11	0,37	6
75 GRÜN FC 144	<1		16,09	13,15	0	7
74 GRÜN FC 040	<1		37,19	15,05	0,23	8
73 GRÜN FC 049	<1		57,26	19,74	-0,52	9

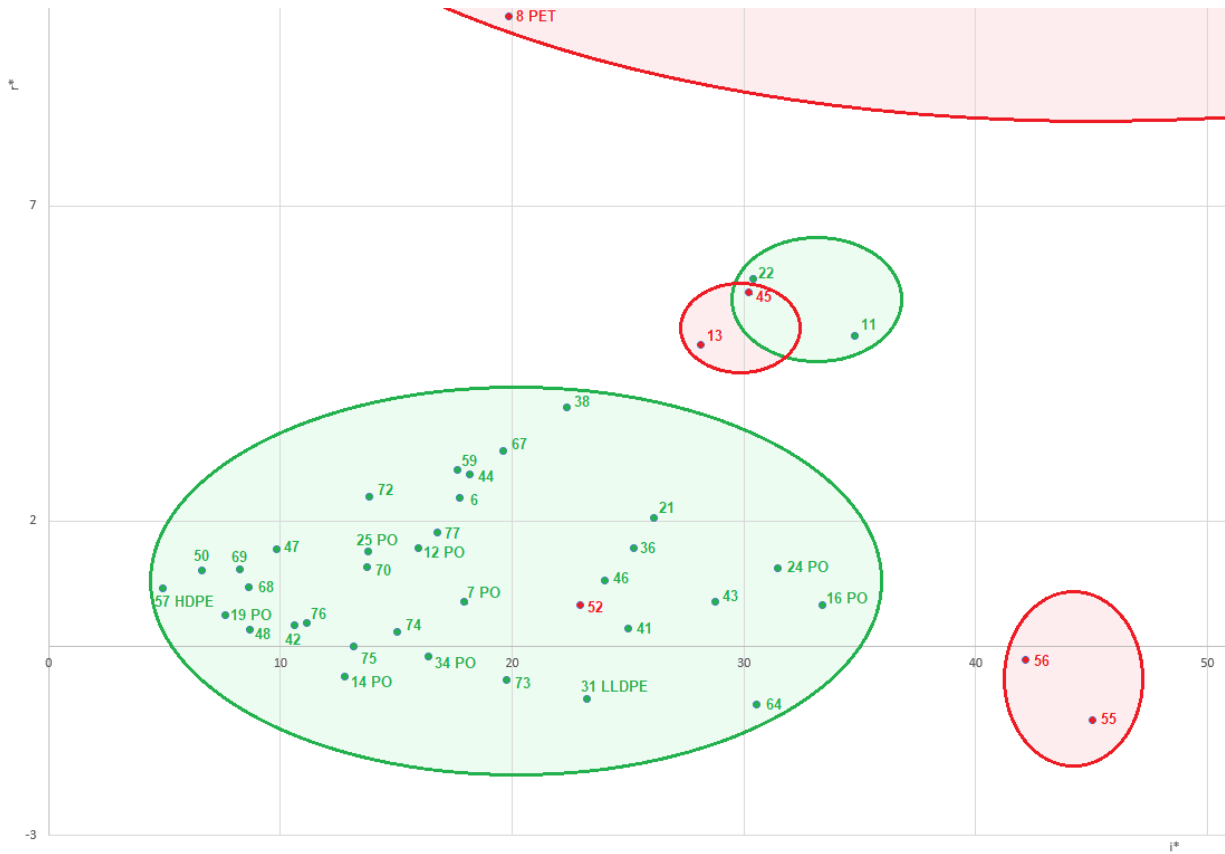


**N\*ir\*-Messwerte bei verschiedenen Virgin-Materialien – Teil-2**

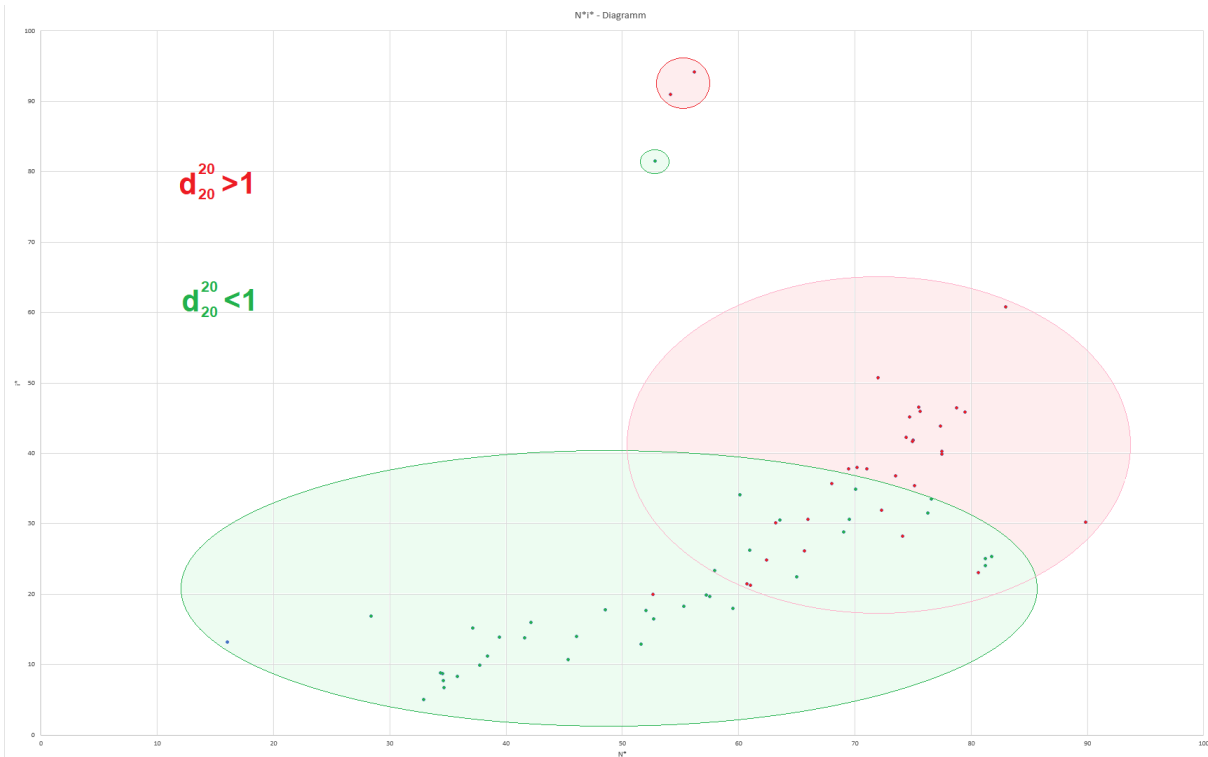


**ir\*- Diagramm**

Auch bei den Rezyklaten können die Kunststofftypen deutlich unterschieden werden (beispielsweise PET von Polyolefinen).

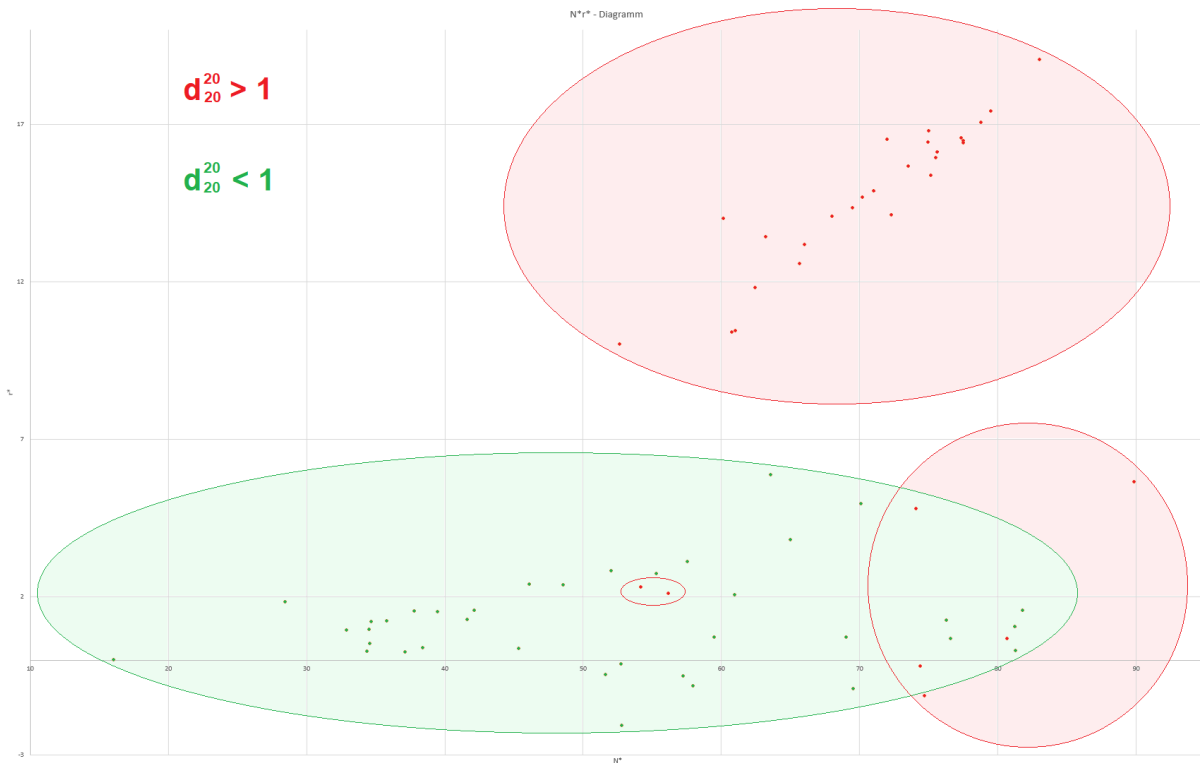


**$i^*r^*$  - Diagramm gezoomt**



**$N^*i^*$  - Diagramm der untersuchten Rezyklate**





**N\*r\*- Diagramm der untersuchten Rezyklate**

### 3.2 NIR – Sensoren und Messgeometrie für die NIR-Detektion

Wie bei der Farbsensorik, ist es auch bei der NIR-Detektion wichtig, die direkte Reflexion der Beleuchtung zu minimieren. Analog zur Farbmessung bieten sich dazu zwei Messgeometrien an:

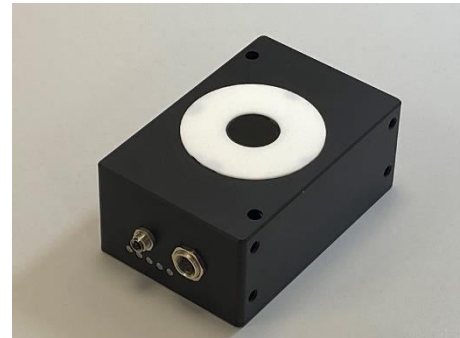
#### 3.2.1 NIR – Sensor nach dem 0°/45° - Verfahren

Eingesetzt wird hierzu eine Lichtleiterversion. Das optomechanische Frontend ist somit sender- und empfängerseitig via Lichtleiter mit der Kontrolleinheit verbunden. Das Licht der drei NIR – LED – Typen wird dabei in den Sendelichtleiterstrang über den Lichtleiterstecker eingekoppelt. Die NIR – Lichteinstrahlung erfolgt am Frontend senkrecht zur Granulatoberfläche, wohingegen der Empfangslichtleiter die Kunststoffgranulatoberfläche unter einem Winkel von 45° betrachtet (0°/45° - Verfahren). Die Lichtleiterversion SPECTRO-T-3-FIO-NIR/NIR (Kontrollelektronik) + KL-D-0°/45°-22-d80/d110-A3.0-NIR (Frontend) kommt in erster Linie an Orten mit hoher Kunststoffgranulat – Temperatur sowie hoher Umgebungstemperatur zum Einsatz. Die Kontrollelektronik verfügt über 5 Digitalausgänge. Versorgt wird die Sensorik über +24V DC. Die N\*i\*r\* - Werte werden über die serielle Schnittstelle ausgegeben.



### 3.2.2 NIR – Sensor nach dem diffus/0° - Verfahren

Sensoren, wie der SPECTRO-T-3-10-DIF-NIR/NIR, die nach dem diffus/0° - Verfahren arbeiten, nutzen Lichtquellen, die den gesamten Halbraum ausleuchten, dabei gibt es keine Vorzugsrichtung des abgestrahlten Lichtes. Als Diffusor wird neben einem Cluster, bestehend aus den drei verschiedenen NIR – LED – Typen, jede davon besitzt einen Abstrahlwinkel von +/- 64°, eine sog. Volumenstreuscheibe (Milchglasscheibe) eingesetzt. Verfahrensbedingt ist der Abstand zwischen Lichtaustritt am Sensor und der zu vermessenden Granulatoberfläche auf ein Minimum zu reduzieren. Nun trennt aber bei der Schauglasmethode eine 9mm dicke Kronglasscheibe die Sensorik von der Granulatoberfläche, so dass mit einem minimalen Abstand von ca. 10mm gerechnet werden muss. Allerdings wird durch die Kronglasplatte (Brechungsindex  $n = 1.6$ ) der optische Abstand wiederum reduziert auf ca. 6mm. Mittig zur Streuglasscheibe ist die Glasabdeckung für den Detektorbereich angeordnet. Die optische Achse der Empfängerseite verläuft dabei parallel zur Normalen (0°) und trifft somit senkrecht auf die Granulatoberfläche.

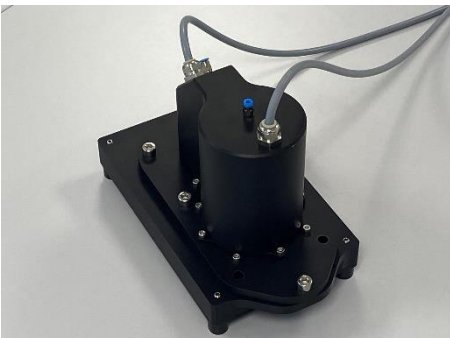


### 3.3 NIR - Sensorsysteme fürs Labor

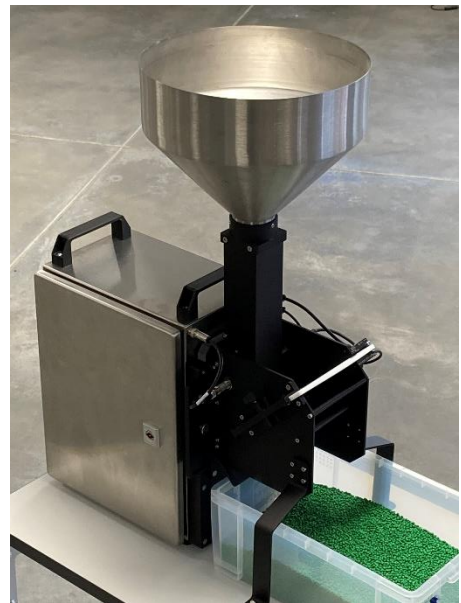
#### 3.3.1 NIR - Sensorsysteme fürs Labor nach der Schauglasmethode

Fürs Labor stehen sowohl NIR – Sensorsysteme mit großem Trichter als auch die Systeme, bei denen Granulatproben ab 0.15 Liter zur Untersuchung ausreichen, zur Verfügung:

- a) SPECTRO-T-3-0°/45°-LAB-LF
- b) SPECTRO-T-3-DIF/0°-LAB-LF
- c) SPECTRO-T-3-0°/45°-LAB-CMU
- d) SPECTRO-T-3-DIF/0°-LAB-CMU



Bei den NIR – Sensorsystemen SPECTRO-T-3-0°/45°-LAB-LF und SPECTRO-T-3-0°/45°-LAB-CMU handelt es sich um Lichtleitersysteme. Das ...-LAB-LF System kann bis zu 10 Liter an Kunststoffgranulat fassen und daraus einen Mittelwert bilden, wohingegen das ...-LAB-CMU System mit einer Kunststoffgranulatmenge von ca. 0.15 Liter auskommt. Beim ...-LAB-CMU Modell ergibt sich der  $N^i*r^*$  - Mittelwert nach Ablauf eines, mittels DOCAL – Software einstellbaren Zeitfensters. Während das Zeitfenster offen ist, wird die Granulatprobe durch den Detektionsbereich der Sensorik bewegt, dadurch wird das  $N^i*r^*$  - Ergebnis wesentlich weniger von



der zufälligen Lage der Pellets beeinflusst. Wie bei den Farbmesssystemen sind auch bei den NIR – Messsystemen mit beiden Systemen (...-LF und ...-CMU) in etwa vergleichbare Genauigkeitswerte zu erreichen. Da auch bei den NIR – Systemen bei der Beurteilung der Distanz zweier Kunststoffgranulate im  $N^i*r^*$  - Raum der  $dE$  – Wert verwendet wird, ist ein gewisser Genauigkeitsvergleich mit den Farbmesssystemen möglich. Festzustellen ist, dass auch bei den NIR – Messsystemen eine Genauigkeit um  $dE = 0.3$  erreicht wird. Wie bei allen Messsystemen ist auch bei den NIR – Messsystemen in gewissen

der zufälligen Lage der Pellets beeinflusst. Wie bei den Farbmesssystemen sind auch bei den NIR – Messsystemen mit beiden Systemen (...-LF und ...-CMU) in etwa vergleichbare Genauigkeitswerte zu erreichen.



Da auch bei den NIR – Systemen bei der Beurteilung der Distanz zweier Kunststoffgranulate im  $N^i*r^*$  - Raum der  $dE$  – Wert verwendet wird, ist ein gewisser Genauigkeitsvergleich mit den Farbmesssystemen möglich. Festzustellen ist, dass auch bei den NIR – Messsystemen eine Genauigkeit um  $dE = 0.3$  erreicht wird. Wie bei allen Messsystemen ist auch bei den NIR – Messsystemen in gewissen



Zeitabständen eine Kalibrierung sinnvoll. Hierzu stehen verschiedene Kalibrierproben zur Auswahl. Sämtliche Kalibrierproben können in Verbindung mit den jeweiligen Geräten verwendet werden. Hierzu ist ein Schlitz im jeweiligen Messsystem vorgesehen, der zur Aufnahme der Kalibrierproben dient. Die Kalibrierung führt man auch bei den NIR – Messsystemen am besten mit dem Kalibrierassistenten der CALIB – PC – Software durch. Die GARDOBOND OAA6014/4 – Aluminiumplatte (sauber sowie fett- bzw. ölfrei) wird hierbei für den Intensitätsabgleich der drei NIR – Kanäle (NIR-L, NIR-C und NIR-R) genutzt, während weitere Kalibrierproben für den Abgleich des Messsystems im jeweiligen N\*i\*r\* - Subraum sorgt.

### 3.3.2 NIR – Sensorsysteme fürs mobile Labor nach der Schauglasmethode

Zu lange Wartezeiten auf die Ergebnisse aus dem Labor? In diesem Fall kann das mobile Labor Abhilfe schaffen. Die Systeme gleichen den ...-LF Typen, verfügen jedoch über eine autarke Stromversorgung mittels Lithium-Ionen – Akku. Ferner steht optional ein, ebenfalls mit einer Batterie betriebener, Drucker zur Verfügung. Das Sensorsystem kann über Ethernet sowie über die USB – Schnittstellen die ermittelten Messergebnisse übertragen. Ferner ist im robusten Edelstahlgehäuse ein Panel – PC integriert. Im Lieferumfang ist neben einer kabellosen Computermaus auch eine kabellose Tastatur enthalten. Der Li Ion – Akku kann über das ebenfalls vorhandene Ladegerät versorgt werden. Dank dem Edelstahltrichter (mit einem Fassungsvermögen von ca. 10 Litern) kann auch heißes Rezyklat in den Trichter gefüllt werden. Mit der beigefügten Edelstahlschütte kann hierbei das heiße Granulat in den Trichter gefüllt werden. Der Aluminium - Kanal, der POM - Schieber und das Schauglas aus Kronglas sind ebenfalls temperaturbeständig.

Folgende Typen stehen zur Auswahl:

- a) SPECTRO-T-3-0°/45°-MOBILE-P
- b) SPECTRO-T-3-DIF/0°-MOBILE-P



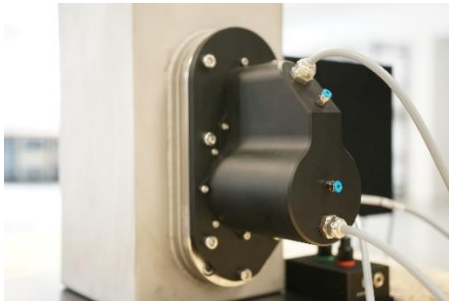
Beim 0°/45° - Verfahren ist die NIR – Lichtquelle senkrecht auf das Schauglas und auf die unmittelbar dahinter anliegenden Pellets gerichtet. Die Empfängeroptik schaut unter 45° auf das beleuchtete Kunststoffgranulat.

Bei der diffus/0° - Methode hingegen liefert der Sender diffuses NIR – Licht. Das Senderlicht kommt dabei nahezu aus dem kompletten Halbraum; der Empfänger hingegen ist unter 0° zur Normalen und somit senkrecht zum Schauglas auf die mit NIR – Licht beleuchtete Granulatoberfläche gerichtet.

Bei beiden Verfahren wird die direkte Reflexion weitestgehend unterdrückt. Da es sich bei der Direktreflexion um einen Oberflächeneffekt (Glanz) handelt, liefert diese Art von Reflexion keine Information bzgl. des Kunststoffmaterials. Diffus reflektiertes Licht hingegen, liefert aufgrund der Wechselwirkung (Teilabsorption) mit der Kunststoffmatrix eine spektrale Information über die Zusammensetzung des jeweiligen Kunststoffes. Tests haben ergeben, dass selbst bei transparenter Neuware (klare, transparente Granulatkörner) ebenfalls gute Messergebnisse erzielt werden konnten.

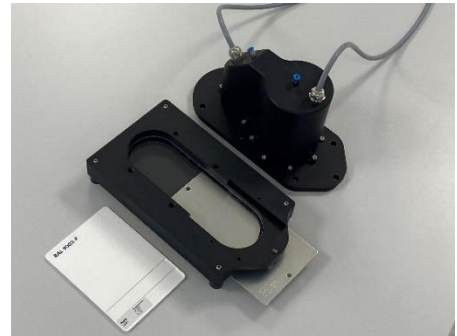
### 3.4 NIR - Sensorsysteme für den Inline - Betrieb

#### 3.4.1 NIR - Sensorsysteme für den Inline - Betrieb nach der Schauglasmethode



Geht es um eine Inline - NIR – Messung bei höheren Temperaturen, Temperaturen jenseits von 60°C, kommt dafür das Lichtleitersystem SPECTRO-T-3-0°/45°-INLINE in Betracht. Herzstück dieses Systems bildet dabei die Kontrollelektronik SPECTRO-T-3-FIO-NIR/NIR in Verbindung mit dem Lichtleiter-Optik- Frontend KL-D-0°/45°-22-d80/d110-A3.0-NIR, das hier zusätzlich in ein Schutzgehäuse integriert worden ist. Zusätzlich kann das Schutzgehäuse mit Druckluft

beaufschlagt werden. Zur Messdatenaufzeichnung sowie zur Darstellung der Messwerte in graphischer sowie numerischer Form kommt auch hier die DOCAL – PC – Software zum Einsatz. Zum Zweck der Kalibrierung kann das NIR – Sensorfrontend abmontiert und auf die Kalibriereinheit CALIB-0°/45° aufgesetzt werden. Verschiedene Kunststoffarten sowie eine Aluplatte vom Typ GARDOBOND OAA6014/4 stehen für den Kalibriervorgang zur Verfügung. Die Aluplatte dient auch hier für den Intensitätsabgleich der einzelnen NIR- Kanäle.



Das weitaus kompaktere NIR – Messsystem hingegen ist die SPECTRO-T-3-DIF/0°-INLINE - System. Die äußere Komponente der Edelstahlkronlaseraufnahme wurde dabei mechanisch so abgeändert, dass eine Aufnahme der Sensorik ermöglicht wird. Die Abänderungen der innenliegenden und damit zur Granulatseite gerichteten Komponente sorgen für einen am Schauglas anliegenden laminaren Granulatstrom. Zur Kalibrierung wird die Sensorik abgeschraubt und auf die Kalibriereinheit CALIB-DIF/0° positioniert. Zur Kalibrierung stehen auch hier neben der



Aluplatte GARDOBOND OAA6014/4 diverse Kunststoffarten zur Verfügung. Der Kalibriervorgang wird mit Hilfe der DOCAL – PC – Software durchgeführt. Mittels Kalibrierassistenten wird der Bediener durch den Kalibrierprozess geleitet. Die Datenaufzeichnung sowie die graphische und numerische Wiedergabe der Messergebnisse auf dem PC erfolgt auch hier über die DOCAL – Software. Üblicherweise wird bei den Inline – Systemen die DOCAL – Software auf einem Panel-PC genutzt. Die Datenübertragung erfolgt von den Inline – Systemen über das USB – Adapterkabel. Die Messwerte werden auf dem Monitor des Panel-PCs in graphischer sowie numerischer Form dargestellt.

Das weitaus kompaktere NIR – Messsystem hingegen ist die SPECTRO-T-3-DIF/0°-INLINE - System. Die äußere Komponente der Edelstahlkronlaseraufnahme wurde dabei mechanisch so abgeändert, dass eine Aufnahme der Sensorik ermöglicht wird. Die Abänderungen der innenliegenden und damit zur Granulatseite gerichteten Komponente sorgen für einen am Schauglas anliegenden laminaren Granulatstrom. Zur Kalibrierung wird die Sensorik abgeschraubt und auf die Kalibriereinheit CALIB-DIF/0° positioniert. Zur Kalibrierung stehen auch hier neben der Aluplatte GARDOBOND OAA6014/4 diverse Kunststoffarten zur Verfügung. Der Kalibriervorgang wird mit Hilfe der DOCAL – PC – Software durchgeführt. Mittels Kalibrierassistenten wird der Bediener durch den Kalibrierprozess geleitet. Die Datenaufzeichnung sowie die graphische und numerische Wiedergabe der Messergebnisse auf dem PC erfolgt auch hier über die DOCAL – Software. Üblicherweise wird bei den Inline – Systemen die DOCAL – Software auf einem Panel-PC genutzt. Die Datenübertragung erfolgt von den Inline – Systemen über das USB – Adapterkabel. Die Messwerte werden auf dem Monitor des Panel-PCs in graphischer sowie numerischer Form dargestellt.



#### 4. Marker - Detektionssysteme zur Unterscheidung der markierten von den nicht markierten Kunststoffgranulaten im Labor sowie Inline

Den Leitlinien „Neue Regeln für Kunststoff – Rezyklate im Kontakt mit Lebensmitteln“ der Verbände der Kunststoff – verarbeitenden Industrie (GKV) und der Kunststoff - Recycler (BDE, bvse), basierend auf der neuen EU – Kommissionsverordnung Nr. 2022/1616 zu recycelten Kunststoffen im Lebensmittelkontakt vom 15. September 2022, ist zu entnehmen, dass PET – Abfälle „mit **höchstens 5% Materialien und Gegenständen, die in Kontakt mit anderen Materialien oder Stoffen als Lebensmitteln verwendet wurden**“, eingesetzt werden dürfen. Diese Verordnung gilt für Post-Consumer PET-Abfälle.

Wie lassen sich PET – Verpackungen, die in Kontakt mit Lebensmitteln verwendet wurden, nun aber von PET – Verpackungen, die in Kontakt mit anderen Materialien oder Stoffen als Lebensmitteln eingesetzt wurden, unterscheiden? Handelt es sich zudem noch in beiden Fällen um die gleiche Farbe der Verpackung, beispielsweise transparent klar oder aber transparent jedoch leicht bläulich eingefärbt, dürfte sich selbst eine Kombination aus Farb- und NIR – Sortiergeräten während der Vorsortierung von Recyclingverpackungen bei der Trennung als ungeeignet erweisen. Bildverarbeitungssysteme hingegen können anhand etwaiger Etiketten oder Sleeves auf den Verpackungen erkennen, zu welchem Einsatzzweck die jeweilige Verpackung vorgesehen war. Barcodes, QR – Codes sowie sog. Digital Watermarks erleichtern hierbei die Sortierung. Nach Vorsortierung und den anschließenden Shreddern der Verpackungen erfolgt nach dem Waschprozess der Flakes die Nachsortierung. Um bei obigem Beispiel zu bleiben, müssten transparente PET – Flakes von transparenten PET – Flakes getrennt werden. Da bei den Flakes jegliche zusätzlich aufgebrachte Information durch den Zerkleinerungs- und dem anschließenden Reinigungsprozess entfernt wurde, liefert die zusätzliche Nachsortierung keine Verbesserung des Sortierergebnisses. Da aber insbesondere die Flake – Sortierung normalerweise den entscheidenden Beitrag zur Verbesserung der Sortenreinheit von zerkleinertem Material liefert, ist es fraglich, obige 5% - Regelung einzuhalten.

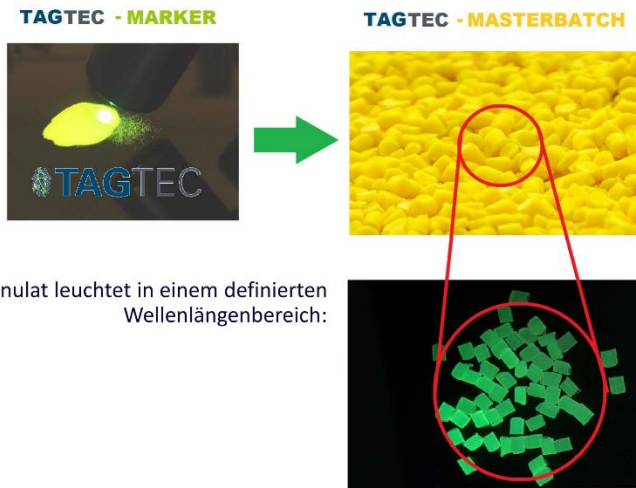
Was wäre aber, wenn PET – Verpackungen, die in Kontakt mit anderen Materialien und Stoffen als Lebensmitteln eingesetzt werden, mit einem Marker gekennzeichnet und dieser Marker schon während der Verpackungsherstellung in der Kunststoffmatrix verankert werden würde? Wenn zudem dieser Marker temperaturbeständig, langlebig sowie von kleiner Partikelgröße und zudem in geringer Konzentration im Endprodukt, in der ganzen Verpackung, in den Flakes aber auch im Rezyklat, gut und sicher nachweisbar wäre?

##### 4.1 TAGTEC – Masterbatches

Bei den TAGTEC (Taggant Technology) – Markern handelt es sich um spezielle Masterbatches der Fa. Gabriel-Chemie GmbH aus Gumpoldskirchen, Österreich. Die Masterbatches enthalten dabei in etwa 0.1% Markeranteil. Bei den Markern wiederum handelt es sich je nach Anwendung um phosphoreszierende oder fluoreszierende Partikel mit einer Partikelgröße von typ.  $1\mu\text{m}$  bis  $10\mu\text{m}$  im Durchmesser. Das jeweilige Masterbatch wiederum wird mittels einer Dosiereinheit dem Kunststoffgrundmaterial mit einem Mischungsverhältnis von 1% bis 2% hinzudosiert. Wo wird nun am besten welches Masterbatch verwendet und welche Detektoren stehen zur Auswahl? Diese Fragen sollen nun im Folgenden etwas näher erläutert werden.



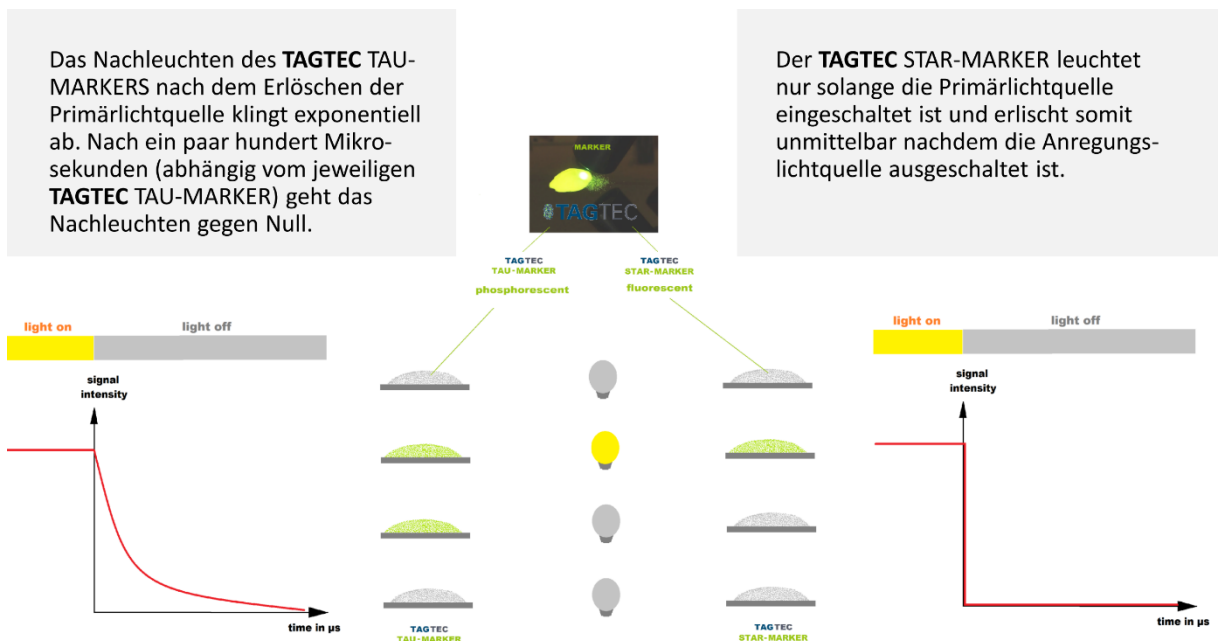
**4.1.1 TAGTEC – Masterbatches mit phosphoreszierenden und mit fluoreszierenden Markern**



Das Granulat leuchtet in einem definierten Wellenlängenbereich:

Bei phosphoreszierenden als auch fluoreszierenden TAGTEC – Masterbatches werden die anorganischen Markerpartikel im Mischungsverhältnis von typischerweise 0.1% bis 0.2% in die Kunststoffmatrix eingebracht. Je nach Applikation werden dabei phosphoreszierende oder fluoreszierende Markerpartikel eingesetzt. Je nach Anwendung stehen verschiedene Kunststofftypen zur Auswahl. Die Partikelgröße der Marker kann ebenfalls ausgewählt werden und liegt im Bereich zwischen 1µm und 10µm im Durchmesser. In der Regel liegt das Mischungsverhältnis zwischen Masterbatch und Kunststoffgrundmaterial bei 1% bis 2% Masterbatchanteil, wodurch sich eine Markerkonzentration im Endprodukt von typischerweise 10ppm und 40ppm ergibt. Durch die unterschiedliche Empfindlichkeit der einzelnen Marker können sich aber auch Abweichungen der Konzentrationen bzw. des Mischungsverhältnisses von den genannten Erfahrungswerten ergeben. Nach den physikalischen Eigenschaften können die TAGTEC – Marker in zwei Gruppen eingeteilt werden:

- a) **Phosphoreszierende TAGTEC – Marker (TAU – Marker)**, mit nachleuchtender Eigenschaft, d.h. nach Abschalten des für den jeweiligen Marker passenden Anregungslichts emittiert der Marker Licht in einem definierten Wellenlängenbereich; das Lichtsignal nimmt dabei exponentiell mit einer für den jeweiligen TAGTEC – Marker charakteristischen Zeitkonstante (TAU) ab. TAU beschreibt die Zeit, bei der das Anregungssignal auf 1/e (auf ca. 37%) abfällt.
- b) **Fluoreszierende TAGTEC – Marker (STAR – Marker)**, emittieren Licht bei Anregung mit für den jeweiligen Marker passenden Primärlicht. Der Sekundäremission (der Wellenlängenbereich ist abhängig vom jeweiligen Marker) endet zeitgleich mit der Abschaltung des Primärlichtes. Primärlichtanregung erfolgt typischerweise im UVA – oder im blauen Wellenlängenbereich.

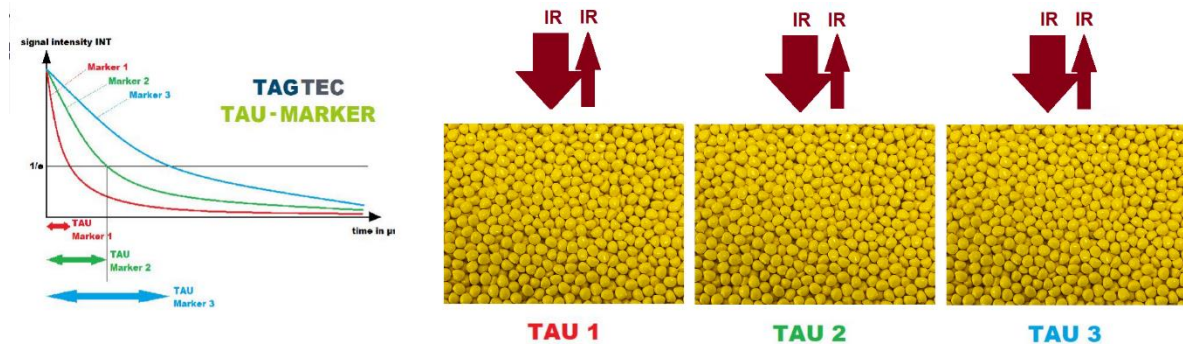


**Phosphoreszierende (links) und fluoreszierende TAGTEC-Marker (rechts)**

Während die meisten fluoreszierenden TAGTEC - Marker im UV-A – Bereich sowie im sichtbaren Wellenlängenbereich angeregt werden können, reicht das Anregungsspektrum für die phosphoreszierenden TAGTEC – Marker vom UV-A – Bereich bis in den NIR – Bereich:

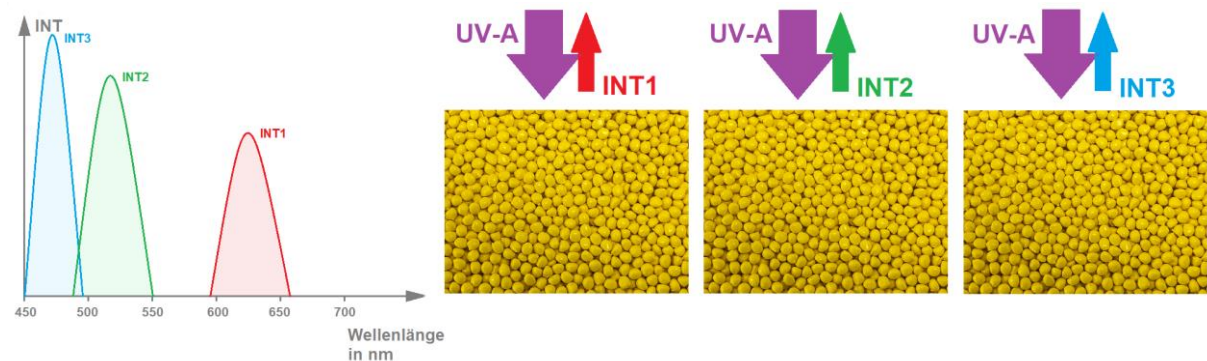
**a) Phosphoreszierende TAGTEC – Marker (TAU – Marker):**

<u>Primäremission (Anregung):</u>	<u>Sekundäremission (Response):</u>	<u>TAU (Abklingkonstante)</u>
UV-A	BLAU	100µs ... 1ms
UV-A	GRÜN	100µs ... 1ms
BLAU	NIR	100µs ... 1ms
GRÜN	NIR	100µs ... 1ms
ROT	NIR	100µs ... 1ms
IR	IR	100µs ... 1ms



**b) Fluoreszierende TAGTEC – Marker (STAR – Marker):**

<u>Primäremission (Anregung):</u>	<u>Sekundäremission (Response)</u>
UV-A	BLAU
UV-A	GRÜN
UV-A	ROT
BLAU	ROT
BLAU	NIR
ROT	NIR

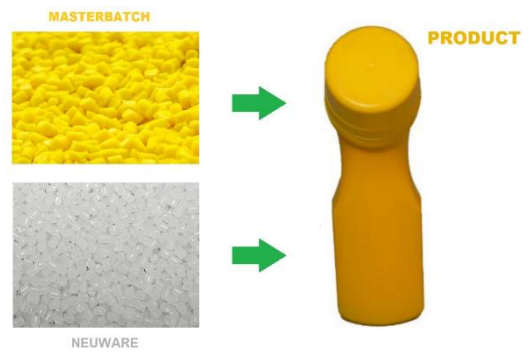


TAGTEC – Marker sind aufgrund ihrer anorganischen Zusammensetzung sehr beständig und unempfindlich gegenüber chemischen und physikalischen Einflüssen. Somit lassen sich Kunststoffprodukte auch nach langen Lebenszyklen, Verschmutzung und starker Beanspruchung noch sicher erkennen und recyceln. Ein weiterer Vorteil ist die toxikologische Unbedenklichkeit der TAGTEC - Marker. Viele dieser Marker sind für den Kontakt mit Lebensmitteln zugelassen und erfüllen die hohen Anforderungen der ÖkoTex-Norm.



## 4.2 Herstellung eines Produktes

Die Herstellung eines Kunststoffproduktes bzw. einer Kunststoffverpackung erfolgt bislang durch Verwendung von Neeware – Granulat (Virgin-Material). Durch Hinzudosieren eines sog. Masterbatches werden dem Produkt die spezifischen Eigenschaften verliehen (beispielsweise Farbe, Flammschutz, UV – Schutz). Nach der Hinzudosierung des Masterbatches erfolgt die Extrusion, bei diesem Verfahren wird dem thermoplastischen Kunststoff unter hohem Druck und hoher Temperatur in einem Spritzgusswerkzeug die endgültige Form verpasst.



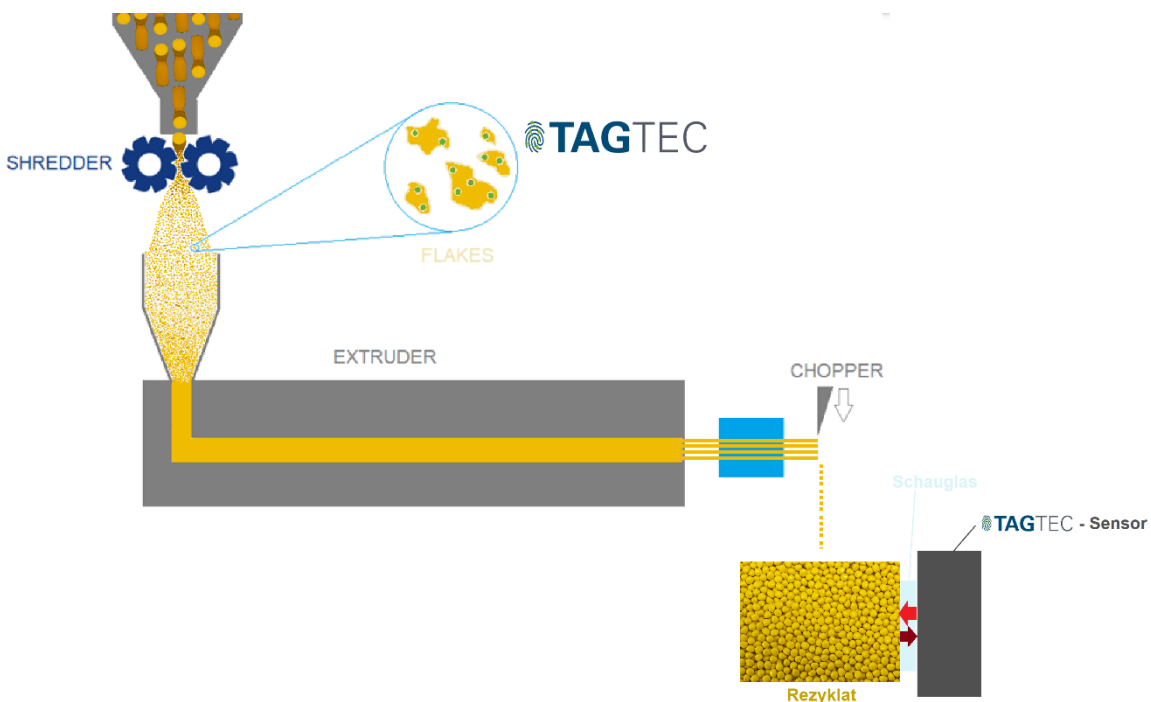
### 4.2.1 Markieren eines Produktes

Unter Verwendung von TAGTEC – Markern kann nun ein Produkt hergestellt werden, das rein visuell und in den mechanischen Eigenschaften keinerlei Unterschied zu obigem Produkt aufweist.



### 4.2.2 Recyceln der Produkte

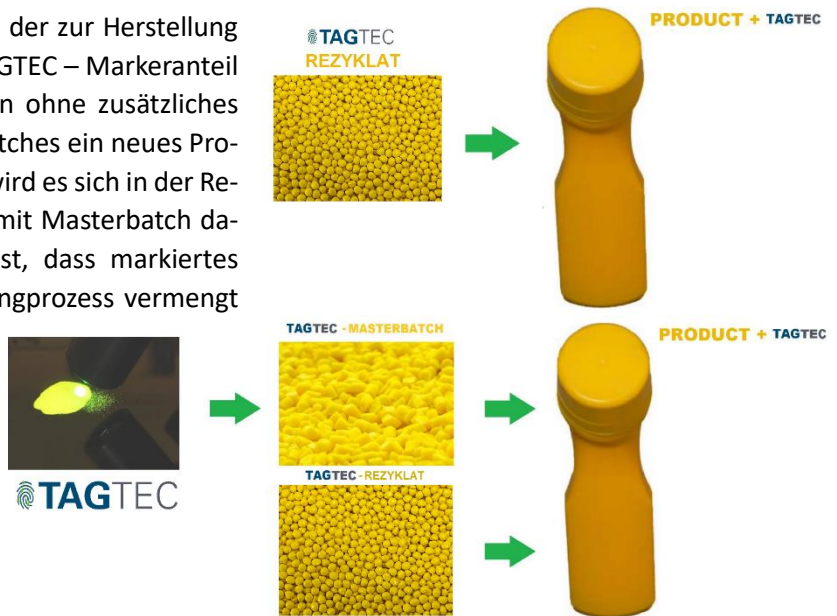
Bei Verwendung geeigneter Sensorik können die Unterschiede zwischen den beiden Produkten präzise festgestellt werden. Wird die Sensorik in entsprechende Sortieranlagen integriert, können beide Produkte während des Recyclingprozesses voneinander getrennt, zerkleinert und gewaschen werden. Werden nun wiederum die Nachsortieranlagen mit entsprechender Sensorik ausgestattet, können auch markierte Flakes von nicht markierten Flakes unterschieden werden, wodurch Rezyklate mit entsprechend hoher Sortenreinheit hergestellt werden können.



Die Reinheit der Rezyklate kann nun wiederum mittels Sensorik kontrolliert werden. Das entsprechende Sensorsystem ist hierbei vom Rezyklatstrom lediglich durch ein Schauglas getrennt. Die Signalstärke am TAGTEC – Sensor gibt dabei Auskunft über den Anteil von TAGTEC – Markern im Rezyklat.

#### 4.2.3 Einsatz von Rezyklaten bei der Herstellung von Produkten

Wird mittels Sensorik festgestellt, dass der zur Herstellung eines neuen Produktes notwendige TAGTEC – Markeranteil durch das Rezyklat erreicht wird, kann ohne zusätzliches Hinzudosieren des TAGTEC – Masterbatches ein neues Produkt hergestellt werden. In der Praxis wird es sich in der Regel hingegen nicht vermeiden lassen, mit Masterbatch dazuzudosieren, da es wahrscheinlich ist, dass markiertes Rezyklat mit unmarkiertem im Recyclingprozess vermengt wird. Über „intelligente“ Dosiereinheiten wird dabei der Anteil von TAGTEC – Rezyklat im Rezyklat mit Hilfe der TAGTEC – Sensorik ermittelt und je nach Notwendigkeit hinzudosiert, damit im Endprodukt der TAGTEC – Markeranteil die geforderte Höhe erreicht.



### 4.3 TAGTEC – Sensoren

Sensor Instruments bietet zur Detektion von phosphoreszierenden sowie fluoreszierenden TAGTEC – Markern neben den batteriebetriebenen und teils Bluetooth – fähigen Handgeräten auch +24V – betriebene Geräte an. Diese Sensoren, sog. Inline – Sensoren, werden auch bei den Labor- sowie Inline-Messsystemen verwendet und im Folgenden vorgestellt.

#### 4.3.1 LUMI-TAU – Inline – Sensoren

Phosphoreszierende TAGTEC – Marker werden während der Produktion und vor allem auch im Granulatzustand mit Hilfe der LUMI-TAU-INLINE-SL- Sensoren kontrolliert. Im Vordergrund steht dabei das Ermitteln des jeweiligen TAU – Wertes. Aber auch die Anfangsintensität INT, d.h. die Signalstärke, ab der das Messsignal ausgewertet wird, ist von Bedeutung, informiert diese doch über die Menge an TAGTEC – Marker in einem bestimmten Produkt. Die einzelnen LUMI-TAU-INLINE-SL- Geräte unterscheiden sich in erster Linie durch die verwendeten LEDs, sowie durch die eingesetzten Fotodioden und den dazu passenden Filtergläsern. Insgesamt stehen 5 verschiedene Typen zur Auswahl:

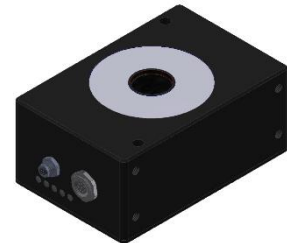
- a) LUMI-TAU-INLINE-SL-IR/IR
- b) LUMI-TAU-INLINE-SL-R/IR
- c) LUMI-TAU-INLINE-SL-UV/BL
- d) LUMI-TAU-INLINE-SL-BL/IR
- e) LUMI-TAU-INLINE-SL-GN/IR



Zudem besitzt der Sensor 4 digitale Ausgänge (0V/+24V); über die serielle Schnittstelle (RS232), mittels externer Adapter kann eine Verbindung zu USB, Ethernet oder Profinet hergestellt werden. Die Sensoren können mittels PC – Software parametrisiert werden.

#### 4.3.2 SPECTRO-T-1 – Inline – Sensoren

Die Inline – Kontrolle von fluoreszierenden Markern im Granulat wird von den Sensoren der SPECTRO-T-1 Serie übernommen. Diese verfügen über ein Cluster an LEDs, die mit Hilfe zweier übereinander angeordneter Volumenstreu-scheiben (Milchglasscheiben) für diffuses Licht sorgen. Im zentralen Teil der Streu-scheibe befindet sich die Öffnung inkl. eines Filterglases für die Empfänger. Auch hierbei ist ein Cluster von für den jeweiligen Wellenlängenbereich passen- den Fotodioden vorgesehen. In dieser Serie werden folgende vier verschiedene Typen angeboten:



- a) SPECTRO-T-1-10-DIF-UV/BL
- b) SPECTRO-T-1-10-DIF-BL/YL
- c) SPECTRO-T-1-10-DIF-R/IR
- d) SPECTRO-T-1-10-DIF-BL/IR

An der 8-pol. Rundbuchse stehen 5 Digitalausgänge (0V/+24V) zur Auswahl. Auch diese Typen verfügen über eine RS232 – Schnittstelle und es werden verschiedene Adapterkabel (USB, Ethernet und Profinet) angeboten.

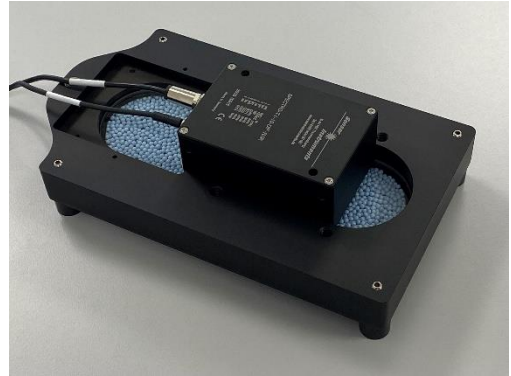
#### 4.4 TAGTEC – Systeme fürs Labor nach der Schauglasmethode

Fürs Labor stehen sowohl TAGTEC – Sensorsysteme mit großem Trichter (ca. 10 Liter Fassungsvermögen) als auch die Systeme, bei denen Granulatproben ab 0.15 Liter zur Untersuchung ausreichen, zur Verfügung. Beide Systemvarianten gibt es sowohl für die phosphoreszierenden ( a bis j ) als auch für die fluoreszierenden ( k bis r ) TAGTEC – Marker:

- a) LUMI-TAU-IR/IR-LAB-LF
- b) LUMI-TAU-R/IR-LAB-LF
- c) LUMI-TAU-BL/IR-LAB-LF
- d) LUMI-TAU-UV/BL-LAB-LF
- e) LUMI-TAU-GN/IR-LAB-LF
- f) LUMI-TAU-IR/IR-LAB-CMU
- g) LUMI-TAU-R/IR-LAB-CMU
- h) LUMI-TAU-BL/IR-LAB-CMU
- i) LUMI-TAU-UV/BL-LAB-CMU
- j) LUMI-TAU-GN/IR-LAB-CMU



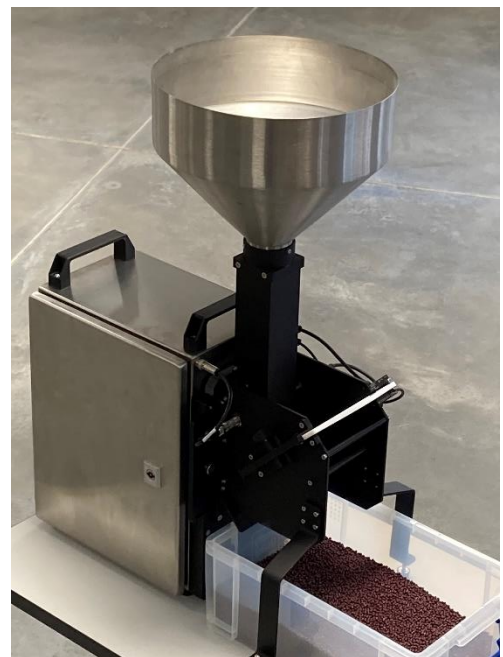
- k) SPECTRO-T-1-DIF/0°-UV/BL-LAB-LF
- l) SPECTRO-T-1-DIF/0°-BL/YL-LAB-LF
- m) SPECTRO-T-1-DIF/0°-R/IR-LAB-LF
- n) SPECTRO-T-1-DIF/0°-BL/IR-LAB-LF
- o) SPECTRO-T-1-DIF/0°-UV/BL-LAB-CMU
- p) SPECTRO-T-1-DIF/0°-BL/YL-LAB-CMU
- q) SPECTRO-T-1-DIF/0°-R/IR-LAB-CMU
- r) SPECTRO-T-1-DIF/0°-BL/IR-LAB-CMU



Ein Schauglas (Kronglas) mit einer Dicke von 9mm trennt dabei in beiden Versionen das zu untersuchende Rezyklat von der Sensoroberfläche. Im Lieferumfang nicht enthalten ist ein PC oder ein Laptop. Die DOCAL – PC – Software als auch die Parametrisierungssoftware lassen sich allerdings bequem unter Windows® installieren. Der PC kann dabei mittels USB – Adapter bzw. Ethernet – Adapter an das LAB-LF bzw. an das LAB-CMU Messsystem angeschlossen werden.



Um die Genauigkeit des Systems zu steigern, wird auch hier während der Bewegung der Pellets gemessen. Damit wird die Messung unabhängiger von der zufälligen Lage der einzelnen Körner im Sichtbereich des Empfängeranteils. Zur Kalibrierung der Sensorsysteme



werden Kunststoffkarten, mit verschiedenen TAGTEC – Markern und unterschiedlicher Konzentration versehen, angeboten. Die Kalibrierung kann dabei am jeweiligen Gerät erfolgen. Entsprechende Aussparungen ermöglichen das Einführen der Kunststoffkalibrierkarten. Die Kalibrierschalen CALIB-LUMI-TAU und CALIB-SPECTRO-T-1 verfügen ebenfalls über ein Schauglas (Kronglas) der Dicke 9mm. Diese eignen sich auch zur Aufnahme der jeweiligen Inline – Systeme bei einer anstehenden

Kalibrierung. Mit der DOCAL – Software kann eine Kalibrierung mittels Kalibrierassistenten bequem durchgeführt werden. Die Software führt den Bediener dabei durch die zur Kalibrierung notwendigen Schritte. Im Monitoring – Modus (DOCU – Mode) werden sowohl die TAU – Werte als auch die INT – Werte und des Weiteren Datum und Uhrzeit in einem vom Bediener vorgegebenen File abgelegt. Ferner werden etwaige Abweichungen vom jeweiligen Sollwert auf dem Monitor angezeigt, sodass der Bediener zeitig auf zu starke Drifts reagieren kann.

#### 4.5 TAGTEC – Systeme fürs mobile Labor nach der Schauglasmethode

Durch die Kontrolle der Rezyklate in unmittelbarer Nähe der Produktionsanlagen, können die Messergebnisse quasi in Echtzeit ermittelt werden. Dadurch kann im Fehlerfall wesentlich schneller reagiert und gegengesteuert werden. Im Wesentlichen handelt es sich um Labormesssysteme der -LF Reihe. Zusätzlich ist das Messsystem hierbei noch mit einem Lithium Ionen Akku ausgestattet und des Weiteren auf einen fahrbaren montiert. Im Gegensatz zur -LF verfügt das mobile Messsystem über einen im Edelstahlgehäuse integrierten Panel-PC, 3 USB – Schnittstellen und eine Ethernet – Schnittstelle. Neben einer kabellosen Computermaus befindet sich auch eine kabellose Tastatur im Lieferumfang. Optional ist auch ein autark versorgter Etikettendrucker erhältlich. Gerade für den Einsatz vor Ort an den Produktionsanlagen macht es erforderlich, dass die dem heißen Rezyklat ausgesetzten Komponenten entsprechend temperaturresistent ausgeführt werden, weshalb hierbei ein Edelstahltrichter (Fassungsvermögen von 10 Litern), ein Produktkanal aus Aluminium, ein Schieber aus beständigem Kunststoff und ein Schauglas aus Kronglas zum Einsatz kommen.



Folgende TAGTEC – Messsysteme für den mobilen Einsatz stehen zur Verfügung:

- a) LUMI-TAU-IR/IR-MOBILE-P
- b) LUMI-TAU-R/IR-MOBILE-P
- c) LUMI-TAU-BL/IR-MOBILE-P
- d) LUMI-TAU-UV/BL-MOBILE-P
- e) LUMI-TAU-GN/IR-MOBILE-P
- f) SPECTRO-T-1-DIF/0°-UV/BL-MOBILE-P
- g) SPECTRO-T-1-DIF/0°-BL/YL-MOBILE-P
- h) SPECTRO-T-1-DIF/0°-R/IR-MOBILE-P
- i) SPECTRO-T-1-DIF/0°-BL/IR-MOBILE-P

#### 4.6 TAGTEC - Sensorsysteme für den Inline - Betrieb nach der *Schauglasmethode*

TAGTEC – Messsysteme für den Inline – Betrieb werden in Verbindung mit Schaugläsern eingesetzt. Die speziell für den Einsatz in Verbindung mit der jeweiligen Sensorik präparierten Schaugläser sind dabei im Lieferumfang enthalten. Der innere Rahmen der beiden Edelstahlteile der Schauglasaufnahme wird in der Regel an die dafür vorgesehene Kontrollposition angeschweißt, aber auch eine Schraublösung kann realisiert werden. Zur weiteren Datenverarbeitung bzw. Darstellung der Messwerte inkl. der Abweichungen zur vorgegebenen Referenz kann auch hier die DOCAL – Software eingesetzt werden, die bereits auf dem optional verfügbaren Industrie - PC vom Typ SI-PPC-500-15“ installiert ist. Der Panel-PC ist dabei in einem robusten Edelstahlgehäuse untergebracht.



3 USB – sowie eine Ethernetschnittstelle stehen zur Verfügung. Eine kabellose Computermaus sowie eine kabellose Tastatur sind im Lieferumfang mit enthalten. Die Verbindung zu den Inline – Systemen erfolgt dabei entweder über Ethernet oder aber über USB. Entsprechende Schnittstellenadapter stehen optional zur Verfügung. Für den Anschluss über USB beispielsweise cab-4/USB-2m sowie cab-4/USB-5m und über Ethernet cab-4/ETH-500 in Verbindung mit einem externen CAT5-Kabel cab-eth/M12D-RJ45-flx-2m, cab-eth/M12D-RJ45-flx-5m, cab-eth/M12-RJ45-flx-10m oder cab-eth/M12D-RJ45-flx-20m. Zum Kalibrieren der Inline – Messsysteme können die beiden Einheiten CALIB-LUMI-TAU und CALIB-SPECTRO-T-1 verwendet werden.



Folgende Inline – Messsysteme werden angeboten:

- a) LUMI-TAU-IR/IR-INLINE
- b) LUMI-TAU-R/IR-INLINE
- c) LUMI-TAU-BL/IR-INLINE
- d) LUMI-TAU-UV/BL-INLINE
- e) LUMI-TAU-GN/IR-INLINE
- f) SPECTRO-T-1-DIF/0°-UV/BL-INLINE
- g) SPECTRO-T-1-DIF/0°-BL/YL-INLINE
- h) SPECTRO-T-1-DIF/0°-R/IR-INLINE
- i) SPECTRO-T-1-DIF/0°-BL/IR-INLINE

### 5.0 Fazit

Mit den Messsystemen zur Rezyklatkontrolle in Bezug auf Farbe, Kunststoffart und TAGTEC – Markern stehen nun sowohl für das Labor (Off-line), die mobile Laborkontrolle (At-line) sowie für den Inline – Einsatz umfangreiche Produktfamilien zur Verfügung. Durch frühzeitige Erkennung einer Produktabweichung mittels Trendanzeige, kann somit frühzeitig gegengesteuert und dadurch die Produktqualität auf hohem Niveau gehalten werden.

