

Mikroplastikanalyse mittels FTIR Mikroskopie

Eine neue Standardmethode für
die Mikroplastikanalyse

Dr. Andreas Kerstan
Produktspezialist für Molekülspektroskopie



Was sind Mikroplastiken?

Mikroplastiken sind Polymerpartikel <5mm.

Erst jetzt sind sie als gravierende Gefahr für die Umwelt entdeckt worden, zumal die durch Menschen erzeugte Verschmutzung jetzt auf den Menschen zurückschlägt.

Besonders Partikel <50µm befinden sich nicht selten in unserer Nahrung.

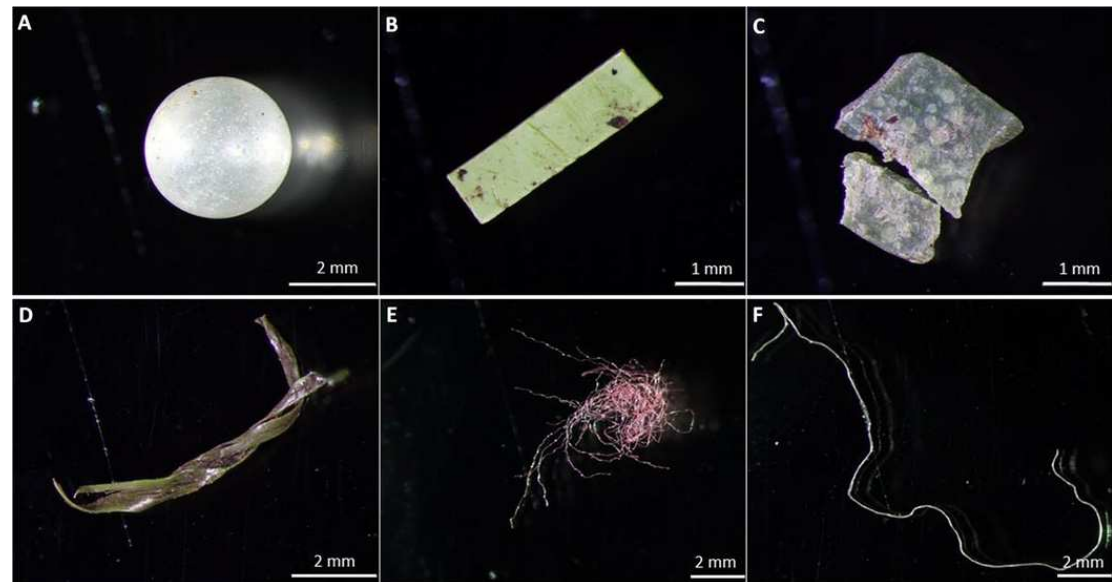


Herausforderungen

Mikroplastiken sind äußerst klein und daher schwierig zu erfassen

Die Größe der Partikel variiert sehr stark. Auch die Formen der Mikroplastiken sind sehr unterschiedlich: Microbeads/ Fragmente/ Fasern

Es gibt einige Publikationen zu unterschiedlichen Techniken wie Raman und NIR, doch scheint FTIR Imaging hinsichtlich Geschwindigkeit, Empfindlichkeit, Spezifität und Unempfindlichkeit gegenüber Fluoreszenz am vielversprechendsten.



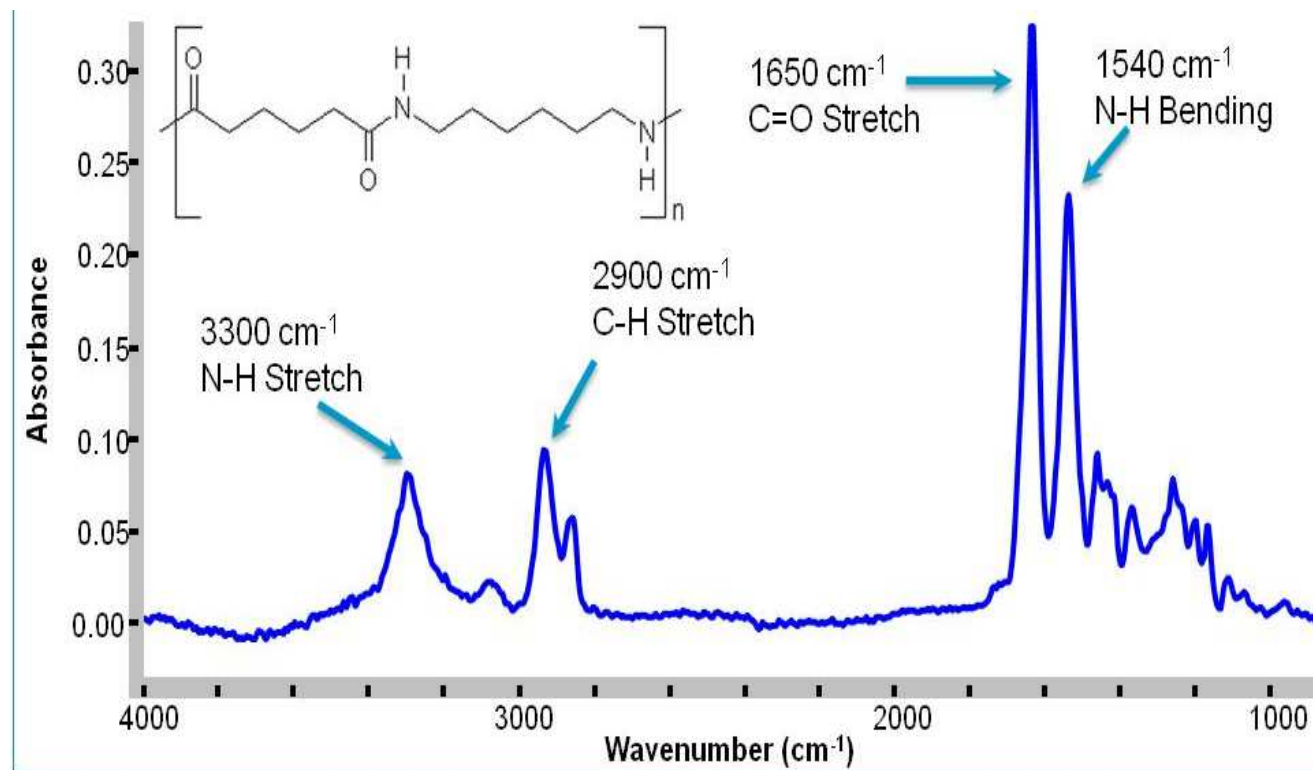


Agenda

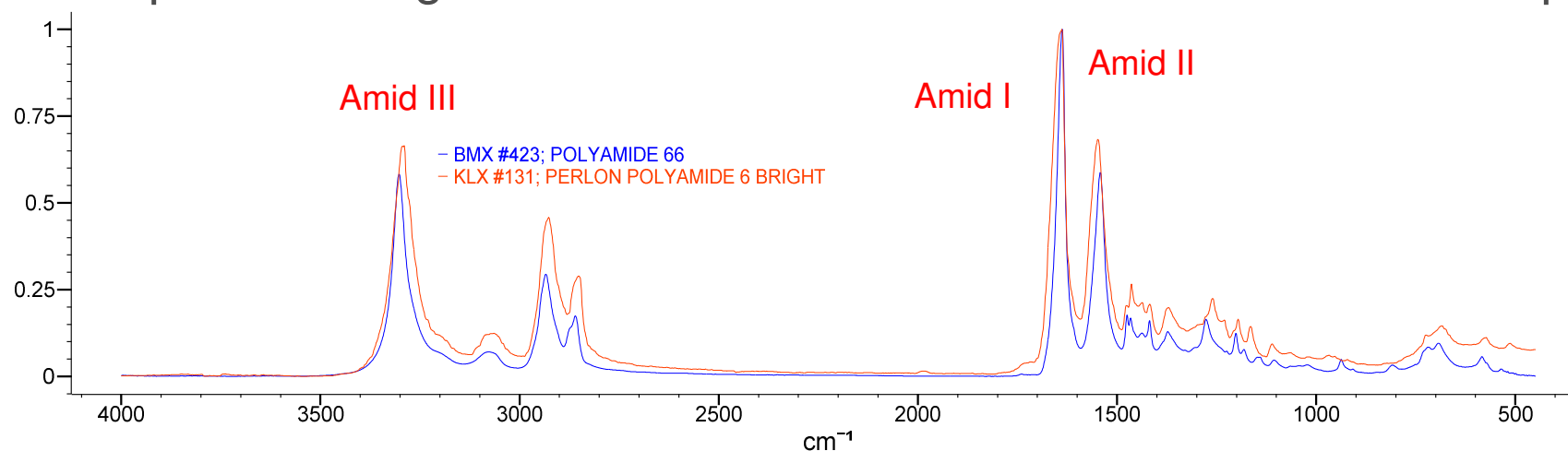
1. Was ist FTIR Spektroskopie?
2. Mikroplastik & Probenvorbereitung
3. FTIR Mikroskopie & FTIR Imaging Für Partikel $> 2\mu\text{m}$
4. Applikationsbeispiele



Überblick über die FTIR Spektroskopie



FTIR Spektren zeigen charakteristische Banden funktioneller Gruppen

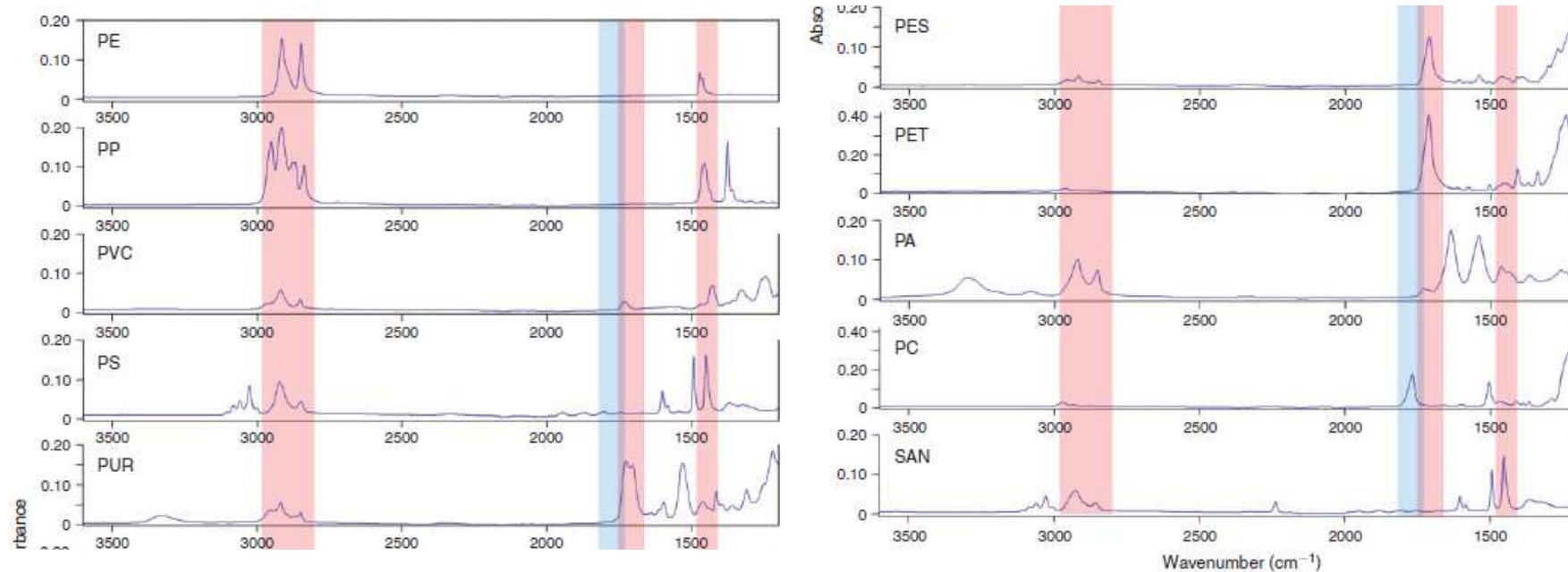


Spectralbereich/ cm^{-1}	Schwingung/ Bindung	Polymer
3000 to 3150	Ph-R 	Polystyrol; Styrol-Acrylonitril
2800 to 3000 >3000	C-H; C-H ₂ ; C-H ₃	PE; PP; PVC; PS; PUR; PA Polyester, Polyethylene-Terephthalat
1710 to 1780	C=O	PES; PET; PC; PUR
1700 to 1600	H-N-C=O / C=C ₁₆₆₀	PA; PU; ungesättigtes Polymer
~ 3320 & ~1570 & ~1300	N-H	PA
1200 to 1060	C-O	Carbonat/ Alkohol
1400 to 1300	C-H; deformation	



Geläufige Mikroplastiken

Identifikation von potenziellen Mikroplastiken anhand der Bandenregion *3



*3 F. Galgani, G. Hanke, S. Werner, L. Oosterbaan, P. Nilsson, D. Fleet, S. Kinsey, R. C. Thompson, J. A. van Franeker, T. Vlachogianni, M. Scoullou, J. M. Veiga, A. Palatinus, M. Matiddi, T. Maes, S. Korpinen, A. Budziak, H. Leslie, J. Gago, G. Liebezeit, *Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas. EUR – Scientific and Technical Research series, European Commission, EUR 26113 EN 2013* (Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Publications Office of the European Union: Luxembourg). doi:[10.2788/99475x](https://doi.org/10.2788/99475x)

Mikropartikel

Seit 2010 existiert die Gesetzgebung zum Schutz und der Regenerierung mariner Ökosysteme

Bestimmung von:
Menge,
Art & Größe der Mikropartikel



Bestimmung in:
Ozeanen, Frischwasser, Abwasser & tierischen Organen



Wie groß sind Mikropartikel?

Große Mikropartikel: 1–5 mm ^{*3}

Manuelle Untersuchung großer Partikel und Fasern
>100-200µm

kleine Mikropartikel: 1 µm–1 mm ^{*6}

Ein Großteil der Partikel ist viel kleiner und reicht bis in den Nanometerbereich.^{*5}

- Zersetzung großer Partikel mittels UV
- Mechanischer Abrieb durch Wellenbewegung

kleinere Partikel (<<100µm) haben besondere biologische Relevanz

- werden durch Organismen aufgenommen
- adsorbieren organische Schadstoffe

Bedarf für ein flexibles Analysesystem zur Bestimmung von Partikelgrößen im Mikrometermaßstab



Mikropartikel

FT-IR Imaging ist am besten geeignet:

- Nicht-zerstörend
- Simultane Bestimmung von :
Zusammensetzung, Größe, Anzahl der verschiedenen Partikel
- Schnell
- Möglichkeiten zur Ermittlung des Gewichtes
- Imaging-System mit automatischem Probenstisch – Analyse großer Flächen(Durchmesser der Filter ~10mm)
- Detektion von Partikeln $< 2 \mu\text{m}$



Probenvorbereitung - Sediment, Wasser & Wassertiere, tierische Organe,.

Abhängig von der Probenherkunft – spezielle Behandlung nötig

1. Verschiedene enzymatische Oxidationsreaktionen
 - zur Entfernung natürlichem organischen Materials

Prozess	Chemikalien
Prä-Oxidation	H ₂ O ₂
Cellulolyt. Enzyme	Viskozyme
Proteolyt. Enzyme	Alkalase
Oxidation-Fenton	Iron(II)cat. H ₂ O ₂



KOH Behandlung



Jes Vollertsen et all. Aalborg University, Denmark

2. Siebung der Partikel auf passende Filter
 - Verschiedene Filter
 - Porengröße bestimmt Partikelgröße

Probenvorbereitung - Sediment, Wasser & Wassertiere, tierische Organe,.

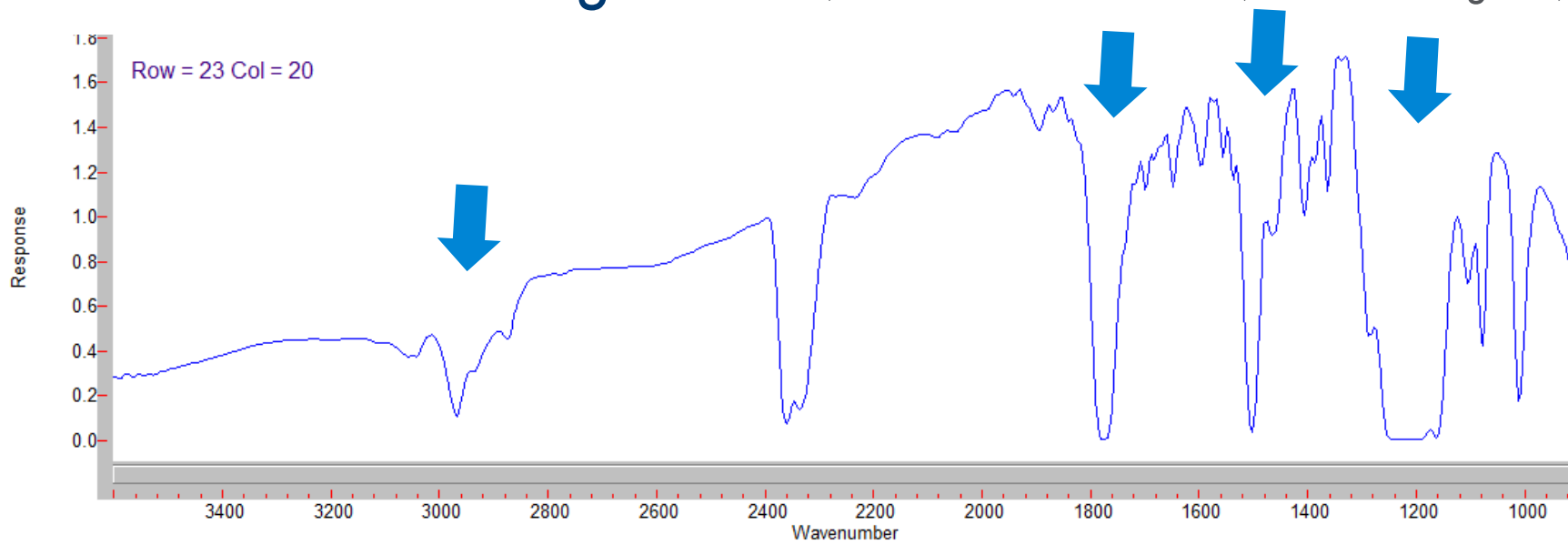
Micropartikel müssen zunächst gefiltert werden
Verschiedene Filter wurden getestet^{*3} :

Filter type	IR window in the range 3800–900 cm ⁻¹ (transmittance, a.u. < 0.5)	Chemical imaging of polyethylen particles			
		Reflectance		Transmittance	
		1480–1440 cm ⁻¹	2980–2780 cm ⁻¹	1480–1440 cm ⁻¹	2980–2780 cm ⁻¹
Cellulose nitrate filter	–	not suitable	not suitable	not suitable	not suitable
Cellulose acetate filter	2600–1850, 1600–1475	not suitable	not suitable	not suitable	not suitable
PESU membrane	–	not suitable	not suitable	not suitable	not suitable
Durapore embrane filter, 0.22 µm GV	2300–1775, 1675–1475	not suitable	not suitable	not suitable	not suitable
Isopore membrane filter, 0.2 µm GTTP ^{polycarbonate}	3800–3000, 2950–1810, 1740–1520, 1480–1415, 1405–1320, 1140–1120, 1100–1090, 1075–1025, 1000–900	suitable	suitable	suitable	suitable
Fluoropore membrane filter, 0.2 µm FG	2000–1510	not suitable	not suitable	not suitable	not suitable
GF/F	–	not suitable	not suitable	not suitable	not suitable
ME 25 membrane filter	2550–1775, 1575–1475	not suitable	not suitable	not suitable	not suitable
Nylon membrane filter	–	not suitable	not suitable	not suitable	not suitable
Anodisc 25 ^{Aluminium oxide}	3800–1620, 1420–1250	not suitable	suitable	suitable	suitable

^{*3} F. Galgani et al. , *Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas. EUR – Scientific and Technical Research series, European Commission, EUR 26113 EN 2013* (Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Publications Office of the European Union: Luxembourg). doi:[10.2788/99475x](https://doi.org/10.2788/99475x)



Probenvorbereitung - Sediment, Wasser & Wassertiere, tierische Organe, .



Hintergrundspektrum eines Polycarbonat-Filters in Transmission(15X Objective).

Da Polycarbonat zu hohem Maße selbst absorbiert, ist dieses Material nicht gut geeignet!



Agilent Technologies

Probenvorbereitung- Anodisc vs. Si Filter

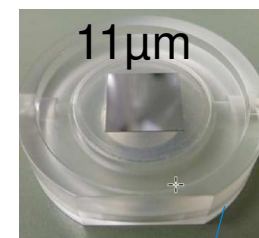
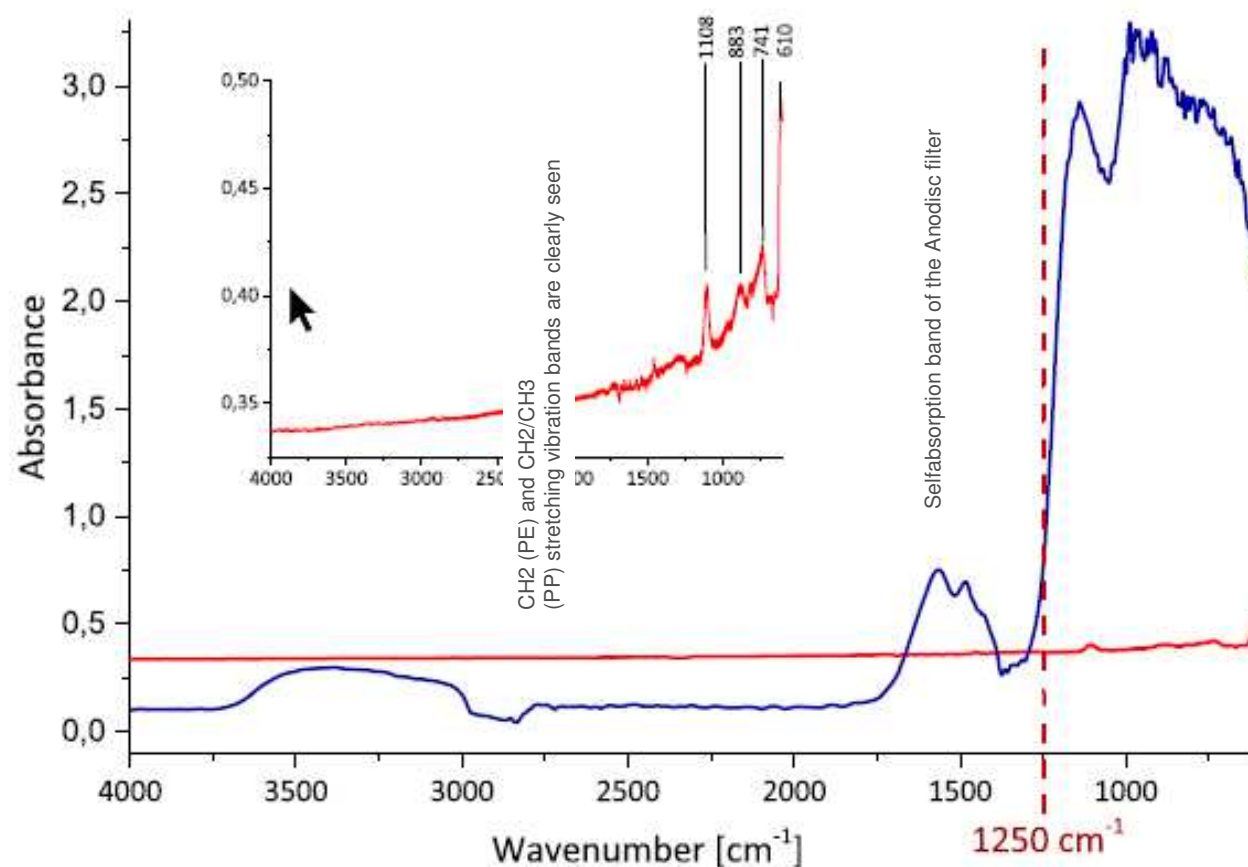


Fig. 5 FTIR transmission spectra of the novel Si filter substrate (*red*) and the conventional Anodisc filter (*blue*). The *inlet spectrum* shows absorption properties of the Si filter substrate (thickness, 250 µm) in detail

*7 Andrea K  ppler et al; Identification of microplastics by FTIR and Raman microscopy: a novel silicon filter substrate opens the important spectral range below 1300 cm⁻¹ for FTIR transmission measurements; Anal Bioanal Chem DOI 10.1007/s00216-015-8850-8



Agilent Technologies

Probenvorbereitung- Anodisc vs. Si Filter

Anodisc Filter vs. Si Filter ^{*7} :

Anodisc Filter nur brauchbar im Spektralbereich 4000- 1250 cm⁻¹ für Transmission

Si Filter zeigen keine intensive Banden im MID IR 4000 bis 600 cm⁻¹. Nur schwache Banden bei 1108, 883 und 741 cm⁻¹ sind sichtbar.

Die maximale Selbstabsorption der verwendeten Filter sollte **0.5** nicht übersteigen, um schwache Banden der Mikroplastiken noch unterscheiden zu können ^{*6}

Si Filter von 250 µm Schichtdicke sind am besten geeignet^{*7}

Der Filter sollte direkt als Hintergrund vermessen werden, um störenden Banden vorweg zu eliminieren

^{*6}: Löder, Gerdts, et al. G (2015) FPA-based micro-FTIR imaging for the analysis of microplastics in environmental samples. Environ Chem. doi:[10.1071/EN14205](https://doi.org/10.1071/EN14205)

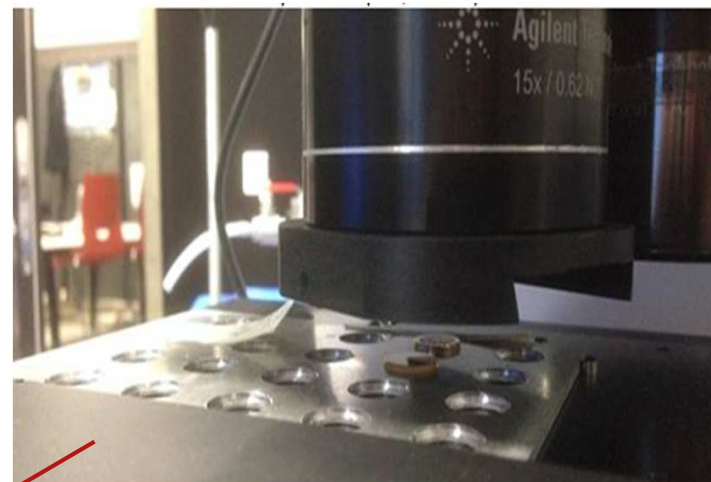
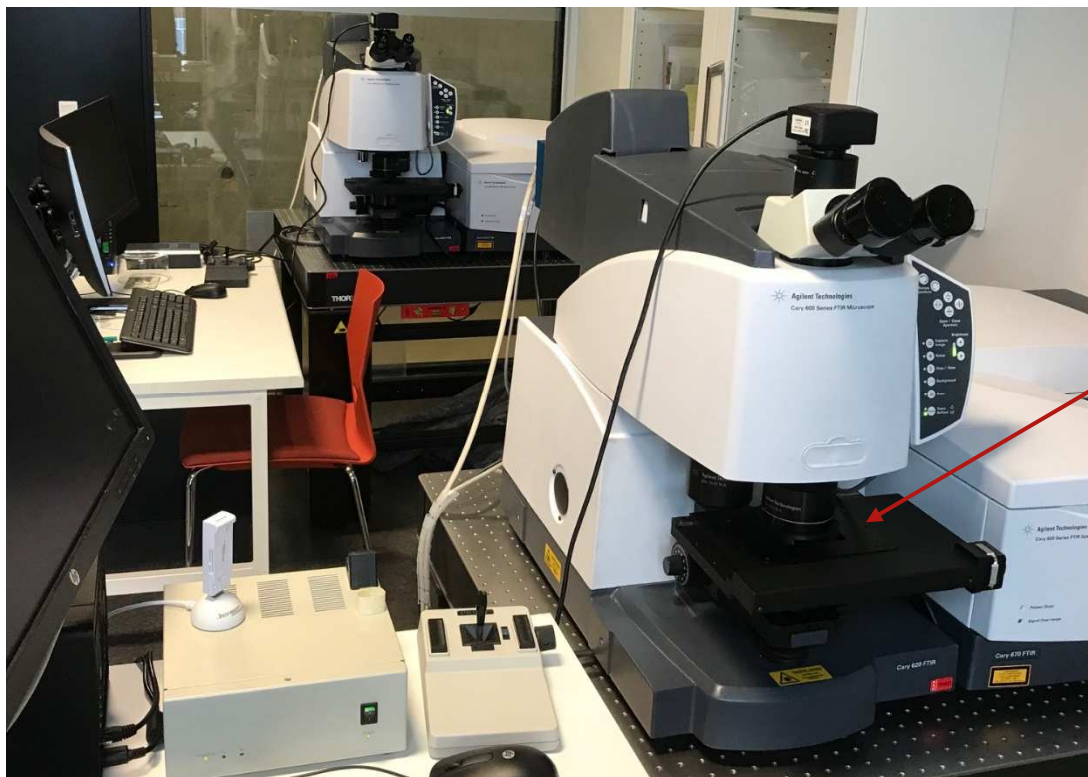
^{*7}: Identification of microplastics by FTIR and Raman microscopy: a novel silicon filter substrate opens the important spectral range below 1300 cm⁻¹ for FTIR transmission measurements Andrea K  ppler et al; Anal Bioanal Chem DOI 10.1007/s00216-015-8850-8



Jes Vollertsen Group; Aalborg University, Denmark

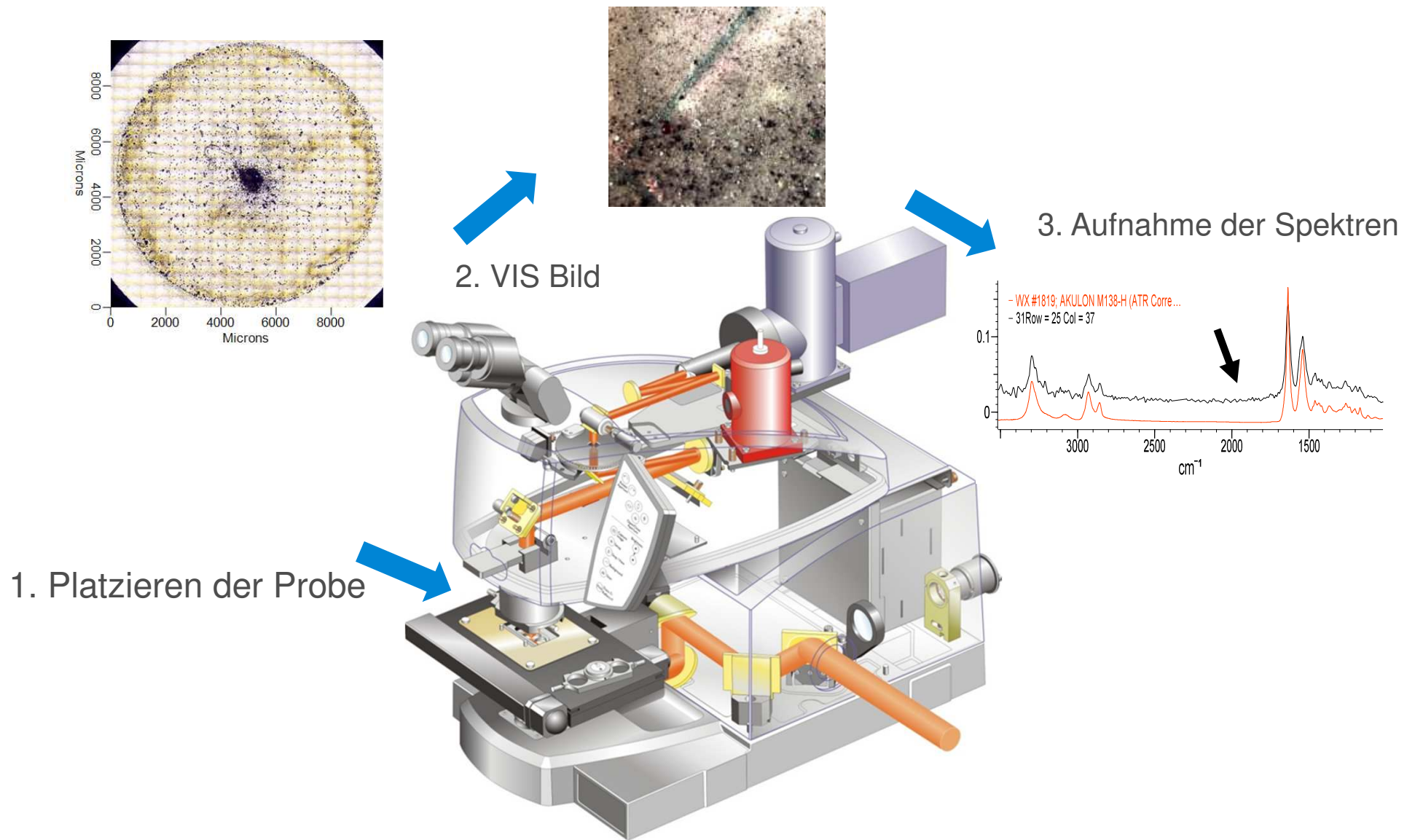


Transmission measurements on CaF₂ or ZnSe windows



Agilent Technologies

FTIR Mikroskopie – FTIR Imaging



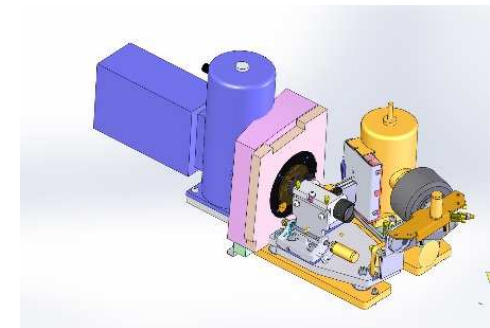
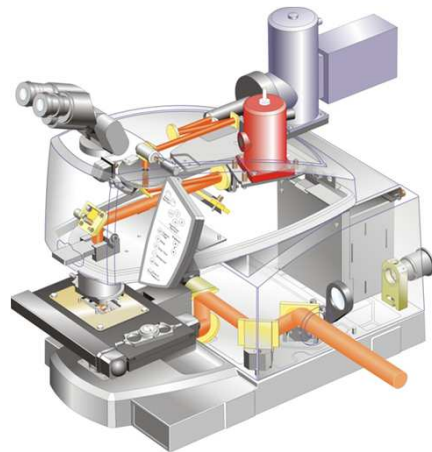
Warum FTIR-Mikro-Imaging system?

FTIR Mikroskopie kann grundsätzlich in zwei Modi durchgeführt werden:

1. Einzelelementdetektor: $>10\text{ }\mu\text{m}$



2. 2-D “Focal Plane Array” (FPA) Imaging : $> 2\text{ }\mu\text{m}$

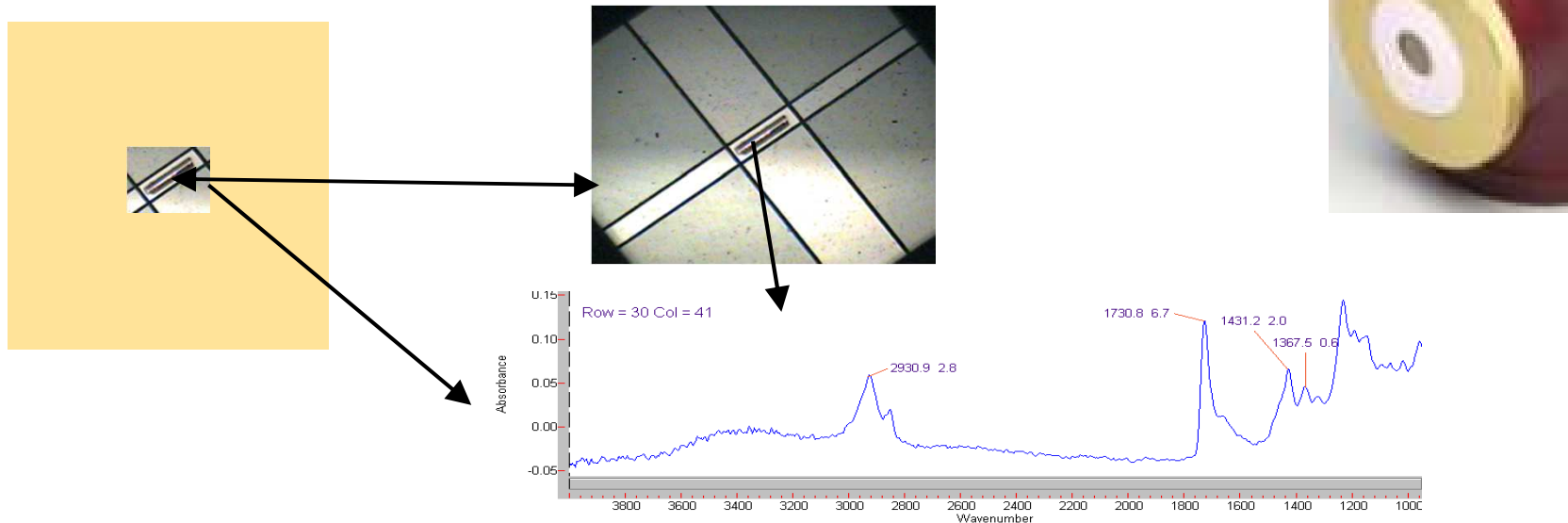


Warum FTIR-Mikro-Imaging system?

Einzelpunktanalyse: CARY 610: Ein Detekorelement nimmt ein Spektrum pro Scan auf

Um die örtliche Auflösung zu erreichen:

- Wird die Aperturgröße auf die Größe der Probe angepasst, um spektrale Interferenzen der Umgebung zu vermeiden
- Typische mögliche örtliche Auflösung beträgt 10-20 μm



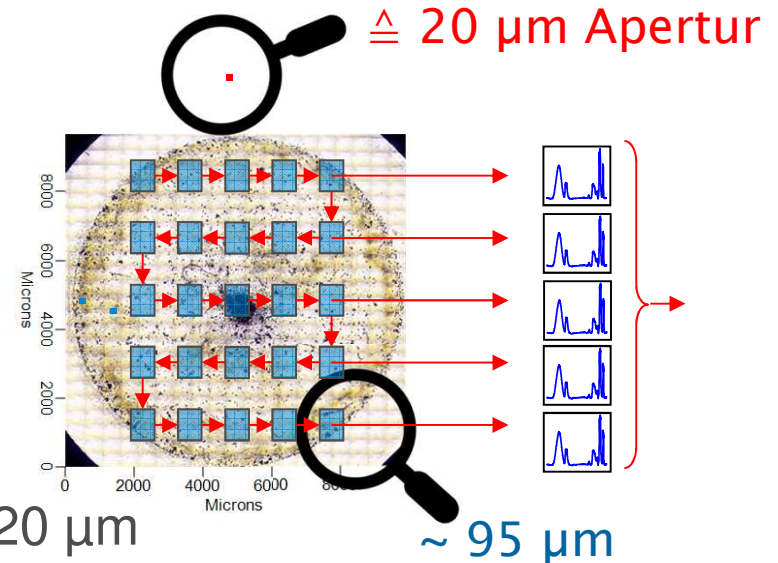
Warum FTIR-Mikro-Imaging system?

1: Einzelementdetektor

Automatische Spektrenaufnahme
(Spektrum für Spektrum)- vordefiniertes Gitter.

1 x 1 cm:

250 000 Einzelflächen bei einer Apertur von = 20 μm



Örtliche Auflösung $\gg 10 \mu\text{m}$ $\longrightarrow$ Apertur minimiert Energiedurchsatz
typische örtliche Auflösung in der Praxis $> 20 \mu\text{m}$

Örtliche Auflösung $\ll 10 \mu\text{m}$:

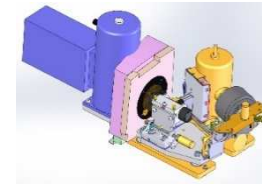
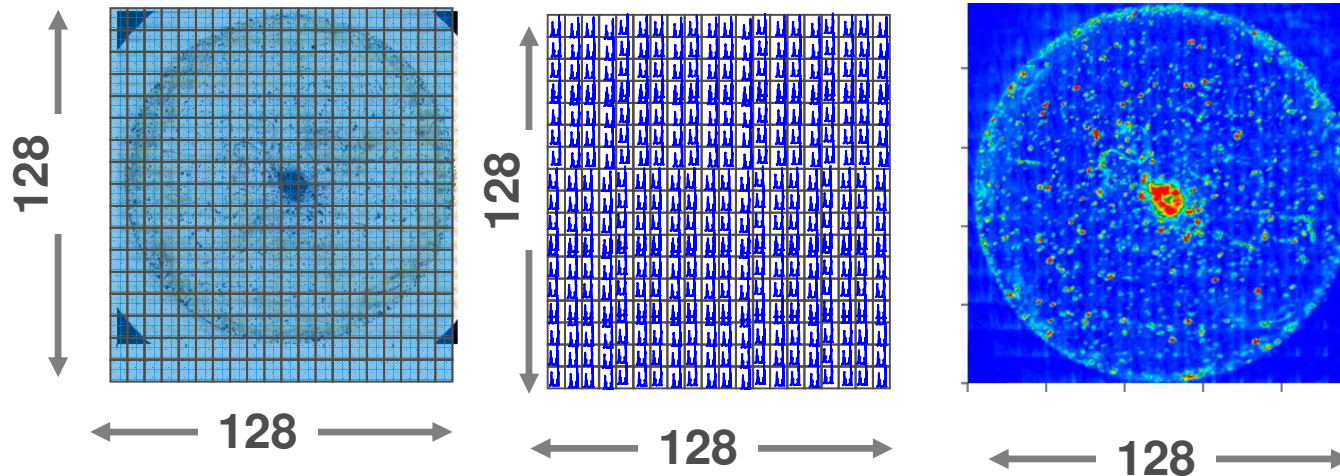
➤ „Focal Plane Array“ (FPA) Detektor;

beste Pixelauflösung 0.17 μm



Agilent Technologies

FT-IR Imaging – FPA Detektor



1. Bis zu **16 384** Spektren/Scan (**128x128 FPA**) simultan erfasst
2. Bis zu **4096** Spektren/Scan(**64 x 64 FPA**) simultan erfasst
3. Bis zu **1024** Spektren/ Scan (**32 x 32 FPA**) simultan erfasst



Systemvergrößerung/ Pixelauflösung

FPA

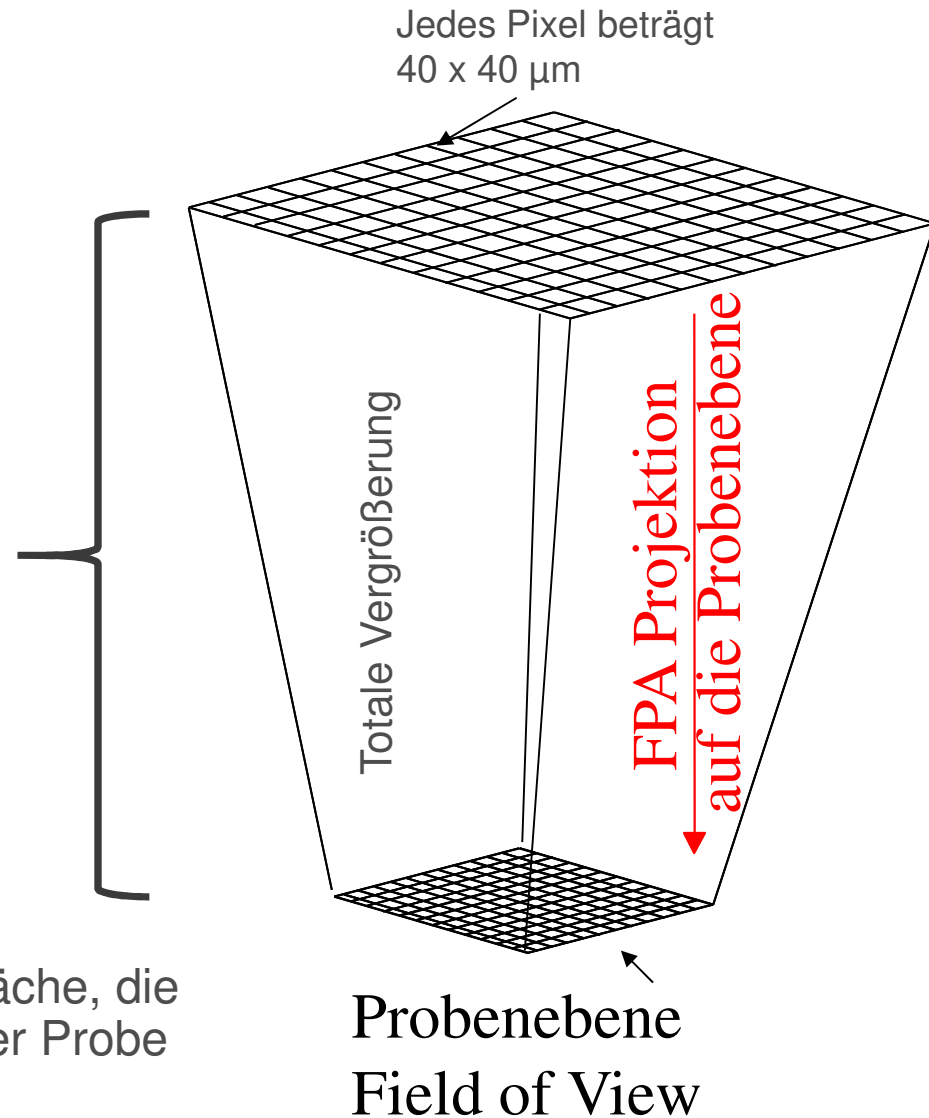
Focal Plane Array Detektor



FOV
Field Of View

**Mikroskop-
Optik**

FOV ist die Fläche, die
der FPA auf der Probe
"sieht"



Agilent Technologies

Pixelgröße/ Vergrößerung

Pixelgröße = $5.5 \mu\text{m}$
Totale Vergr. = $7\times$

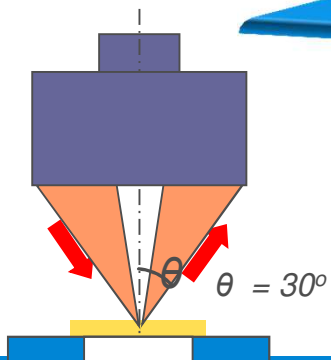
FPA
 $40\times 40 \mu\text{m pixel}$

Pixelgröße = $3.3 \mu\text{m}$
Totale Vergr. = $12\times$

15x,
NA:0.62

**25x,
NA:0.81**

Stage



$\theta = 30^\circ$

NA: Numerische Apertur = $n \sin \theta$

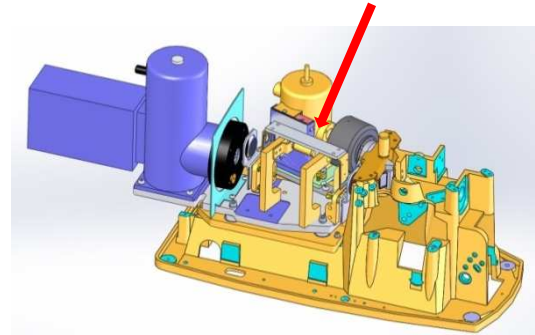
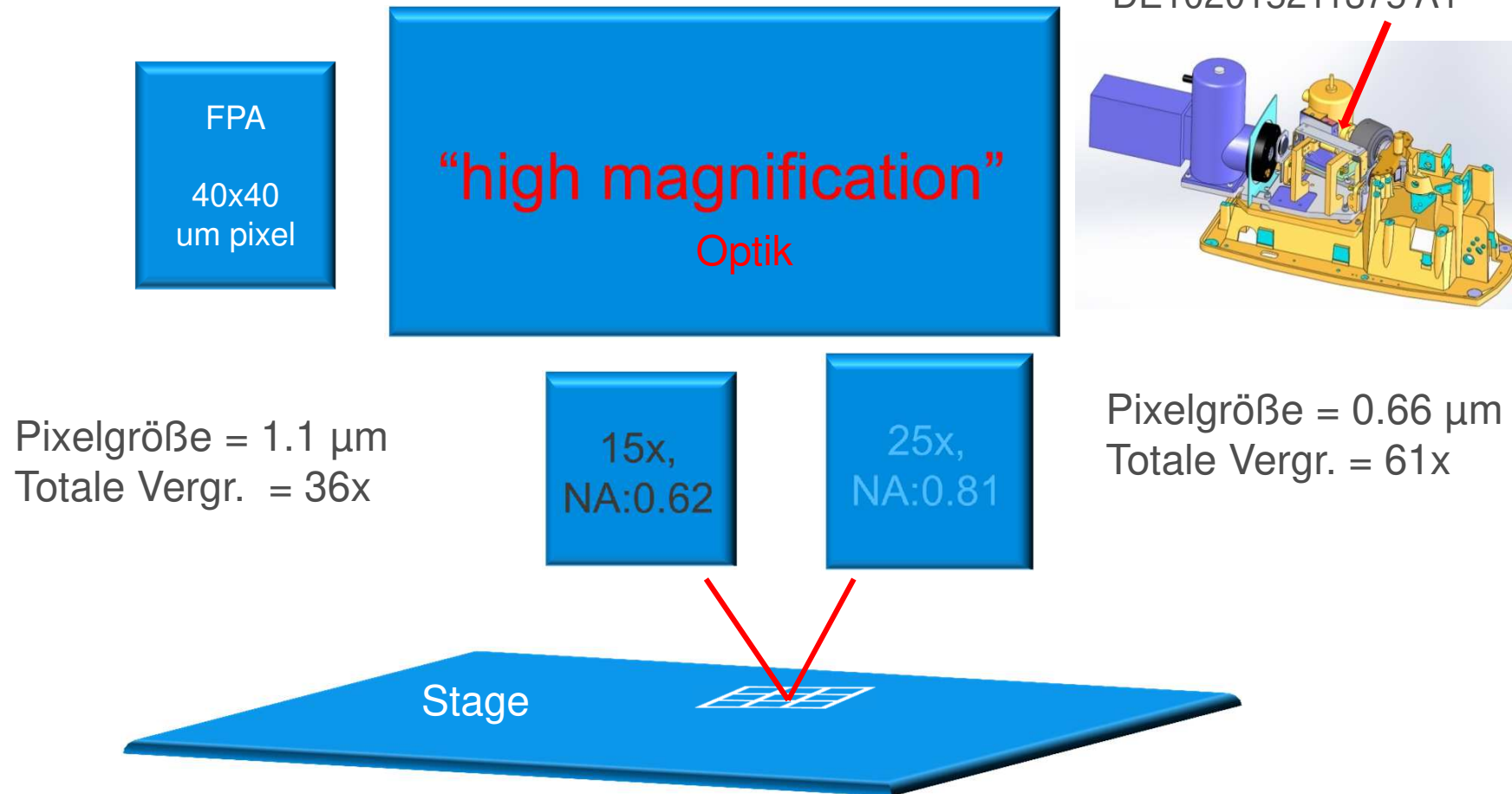


Agilent Technologies

Pixelgröße/ "High Magnification" Optik

**Software-gesteuerte
High-Magnification**

Patentiert: US 9,625,695
&
DE102015211375 A1



Agilent Technologies

Örtliche Auflösung

Die örtliche Auflösung wird durch das **Rayleigh Kriterium** bestimmt:

$$\text{Örtliche Auflösung} = 0.61 \lambda / NA$$

λ : Wellenlänge (μm),

NA: Numerische Apertur = $n \sin \theta$

n : Brechungsindex des Mediums (air = 1, Ge = 4)

θ : Öffnungswinkel des Lichtes (Objektiv)

Die örtliche Auflösung wird nur bestimmt durch:

1. **Wellenlänge** λ , und
2. **Numerische Apertur**, $NA = n \sin \theta$

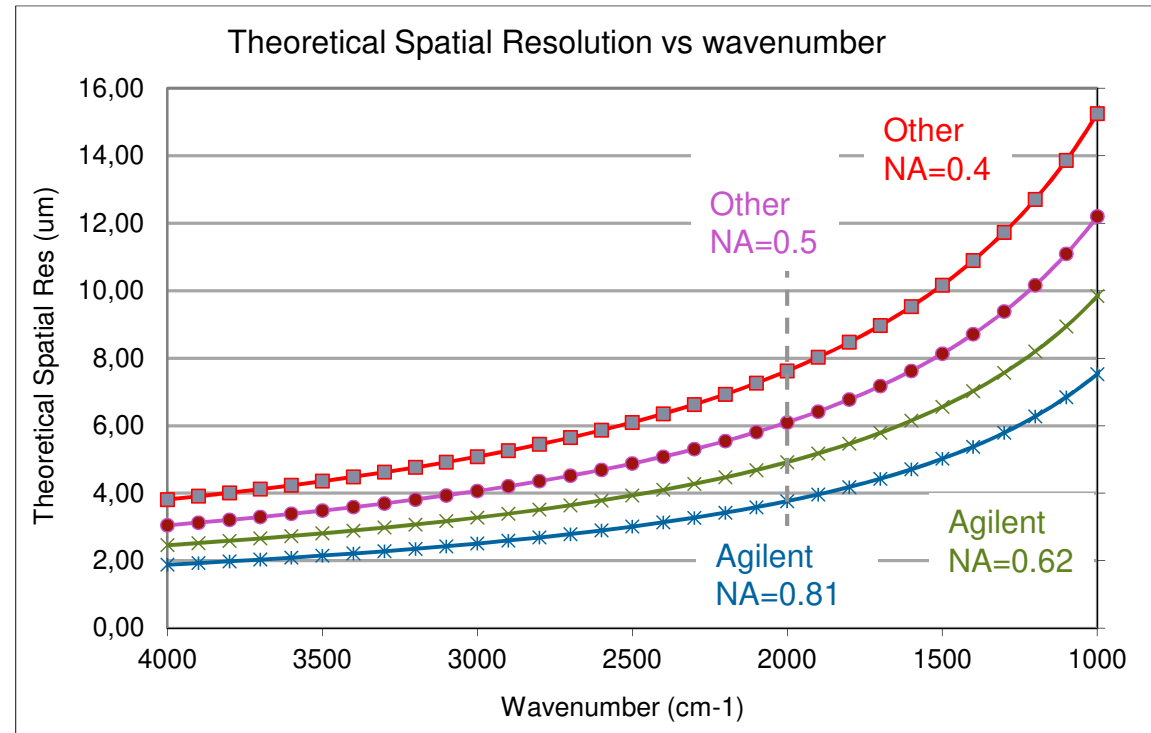
Zusätzliche Vergrößerung kann die maximal mögliche Auflösung positiv beeinflussen.



Örtliche Auflösung

For $\lambda = 5 \mu\text{m}$ (2000 cm^{-1})

NA	Spatial resolution _[Rayleigh] / μm
0.4	7.6
0.5	6.1
0.6	5.1
0.7	4.3
0.8	3.8



Zusammengefasst:

If $NA = 0.61$, theoretische örtliche Auflösung = Wellenlänge (λ)

If $NA < 0.61$, theoretische örtliche Auflösung $>$ Wellenlänge (λ)

If $NA > 0.61$ theoretische örtliche Auflösung $<$ Wellenlänge (λ)



Örtliche Auflösung mit USAF Target

Pixelgröße mode)	Einzelne FPA Fläche FOV (mit 128x128FPA)	örtliche Auflösung 2500 cm ⁻¹ / [4 µm]	obj mag, 	NA	Modus
19 µm	2400x2400 µm	20.0 µm	4x	0.2	Std. mag
5.5 µm	700x700 µm	7.6 µm	15x	0.62	Std. mag.
3.3 µm	420x420 µm	5.0 µm	25	0.81	Std. mag,
1.1 µm	140x140 µm	3.0 µm	15X	0.62	High mag.
0.66 µm	85x85 µm	1.7 µm	25	0.81	High mag.

Die ideale Pixelgröße R_{ideal} berechnet von Rohit Bhargava

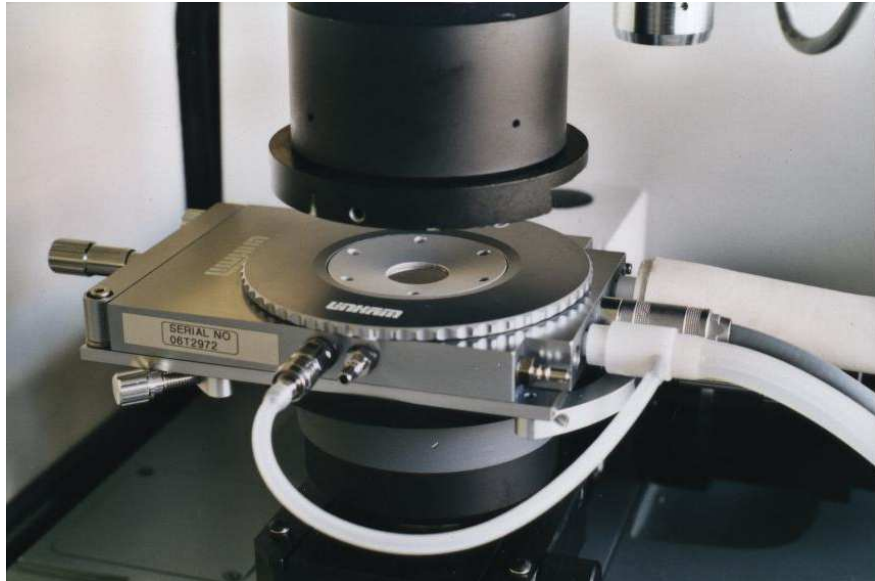
$$R_{ideal} = \frac{0.25 \cdot \lambda}{NA}, \quad \text{bei } 4000 \text{ cm}^{-1} \quad R_{ideal; NA=0.81} = 0.8 \text{ µm}$$

[Bhargava et al. „High-Definition Infrared Spectroscopic Imaging“ Applied Spectroscopy. Volume 67, Number 1, 2013]

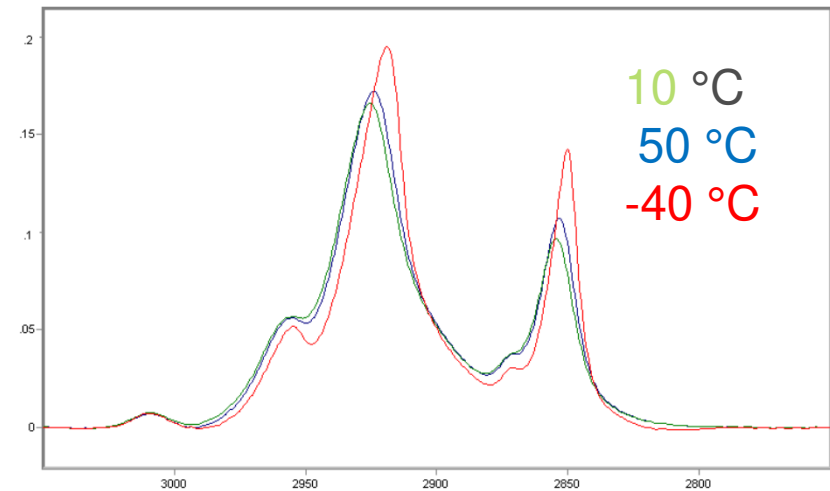


Agilent Technologies

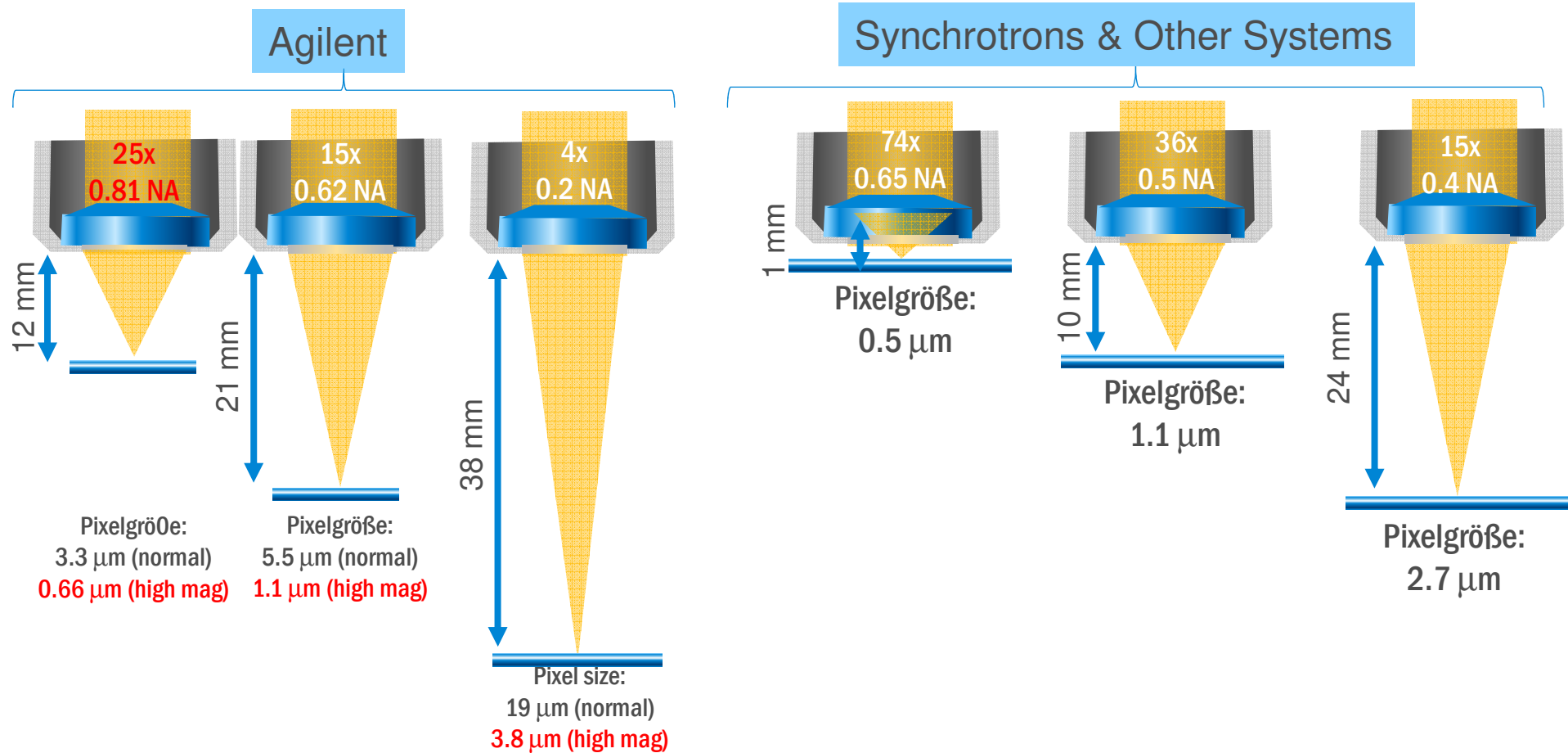
Arbeitsdistanz



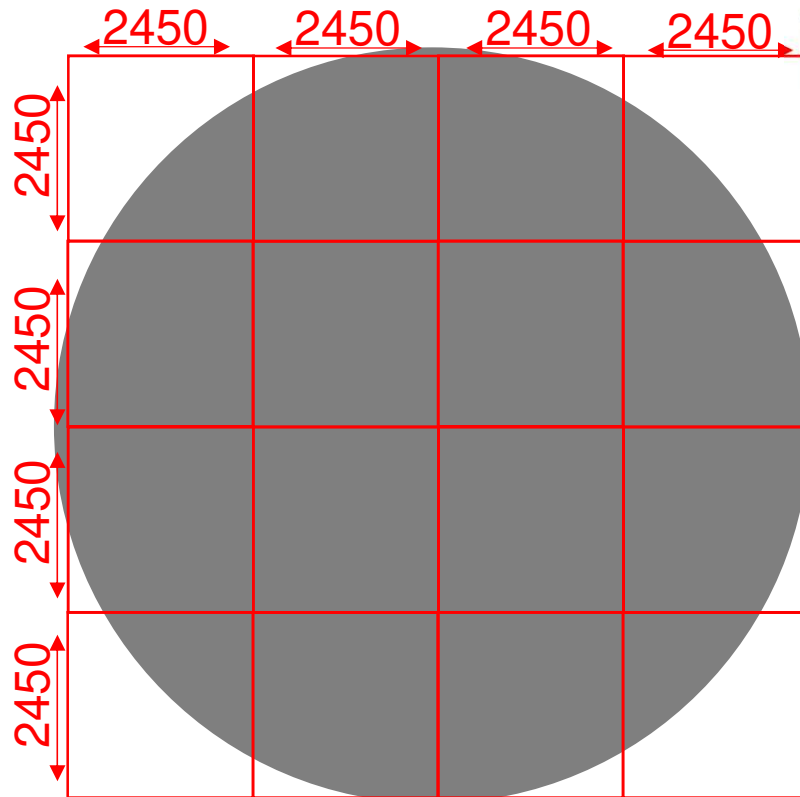
>1µm Pixelgröße mit hoher NA ist nun möglich
Einsatz von Linkam Stages (Kühl- und Heizexperimente) und Flusszellen



Arbeitsdistanz



Typischer Filter/Substratgröße
10mm (1cm) Durchmesser

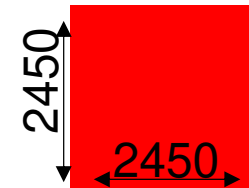
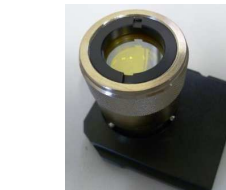


Objektiv- Optionen
(Standard “Mag.” Modus)

Objektiv: 4x IR

Pixelgröße: 19μm

FOV_{128 FPA}: 2450 μm



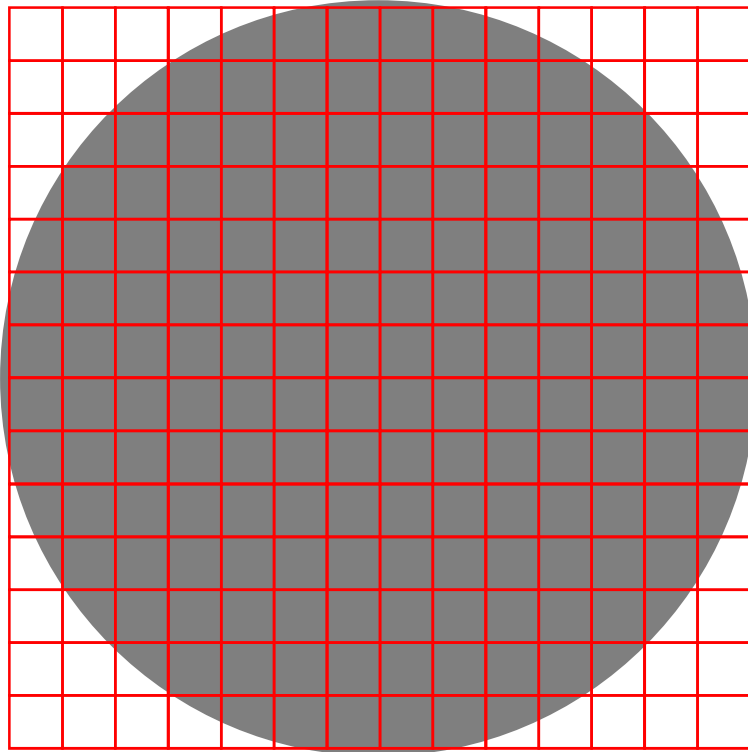
Mosaikgröße: 4x4
(16 Flächen)

Zeit für Datenaufnahme: ~10 mins



Agilent Technologies

Typische Filter/Substratgröße
10mm (1cm) Durchmesser



Objektiv- Optionen
(Standard “Mag” Modus)

Objektiv: 15x IR

Pixelgröße : 5.5 μm



FOV_{128 FPA}: 700 μm



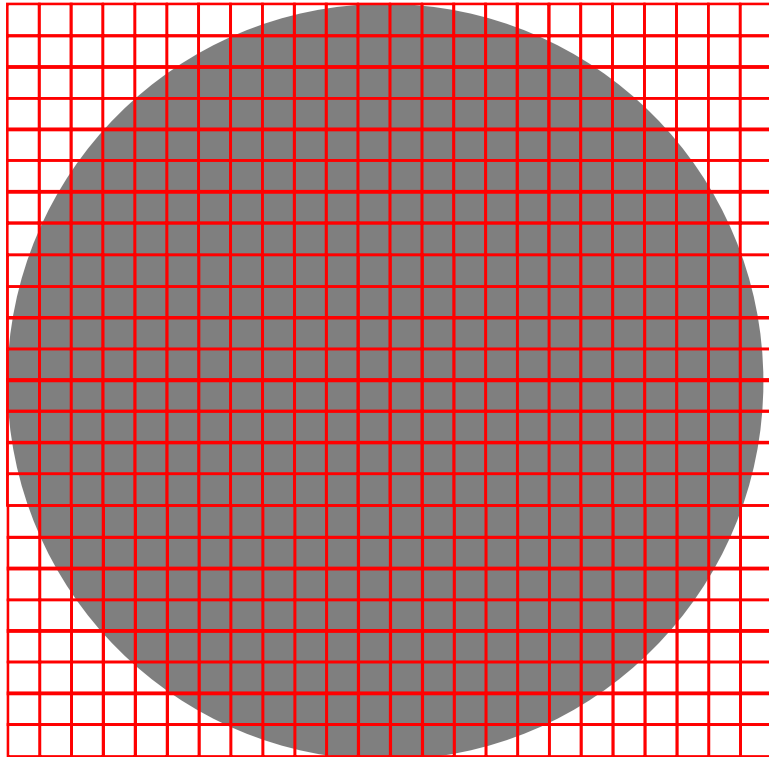
Mosaikgröße: 14x14
(196 Flächen)

Zeit für Datenaufnahme: ~100 mins



Agilent Technologies

Typische Filter/ Substratgröße
10mm (1cm) Durchmesser



Objektiv-Optionen
(Standard “Mag” Modus)

Objektiv: 25x IR

Pixelgröße: 3.3 μm



FOV_{128 FPA}: 420 μm ■

Mosaikgröße: 24x24
(576 tiles)

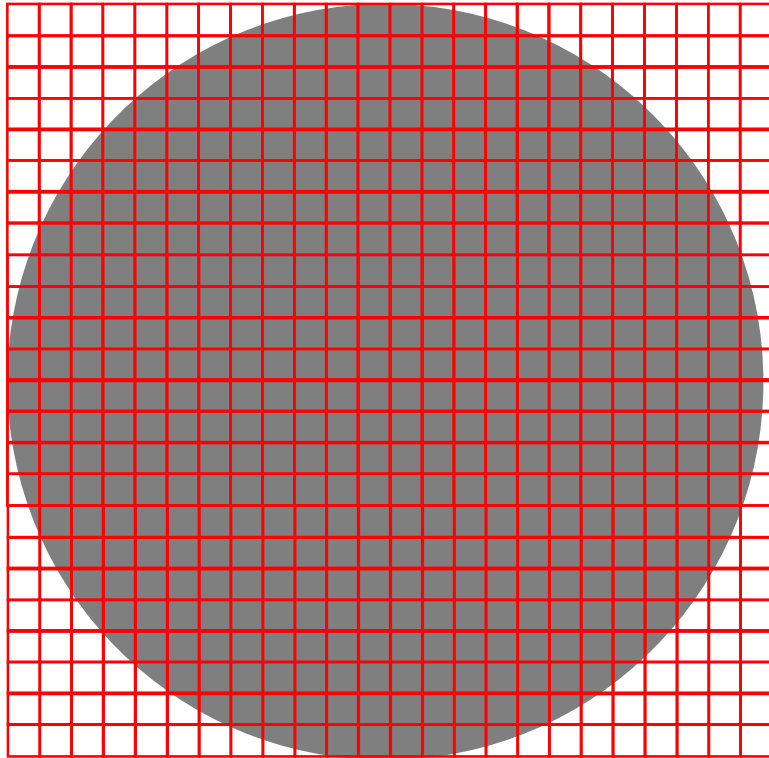
Zeit für Datenaufnahme: ~5 hr



Agilent Technologies

Datagröße- keine Limits!

Typische Filter/Substratgröße
10mm Durchmesser



Objektiv: 25x IR

Mosaikgröße: 24x24
(576 Flächen)

Jede Fläche: 16384 Spektren

Gesamt: 9.4 million Spektren

Jede Fläche: 46.59 Mbyte

Total Größe: 26.83 Gbyte

Jede Fläche wird separat
gespeichert!

Zeit für Datenaufnahme: ~5 hr



Agilent Technologies

Agilent und die anderen- ein paar Vergleiche

Identification and Quantification of Microplastics in Wastewater Using Focal Plane Array-Based Reflectance Micro-FT-IR Imaging

Alexander S. Tagg,[†] Melanie Sapp,[‡] Jesse P. Harrison,[§] and Jesús J. Ojeda^{*,†}

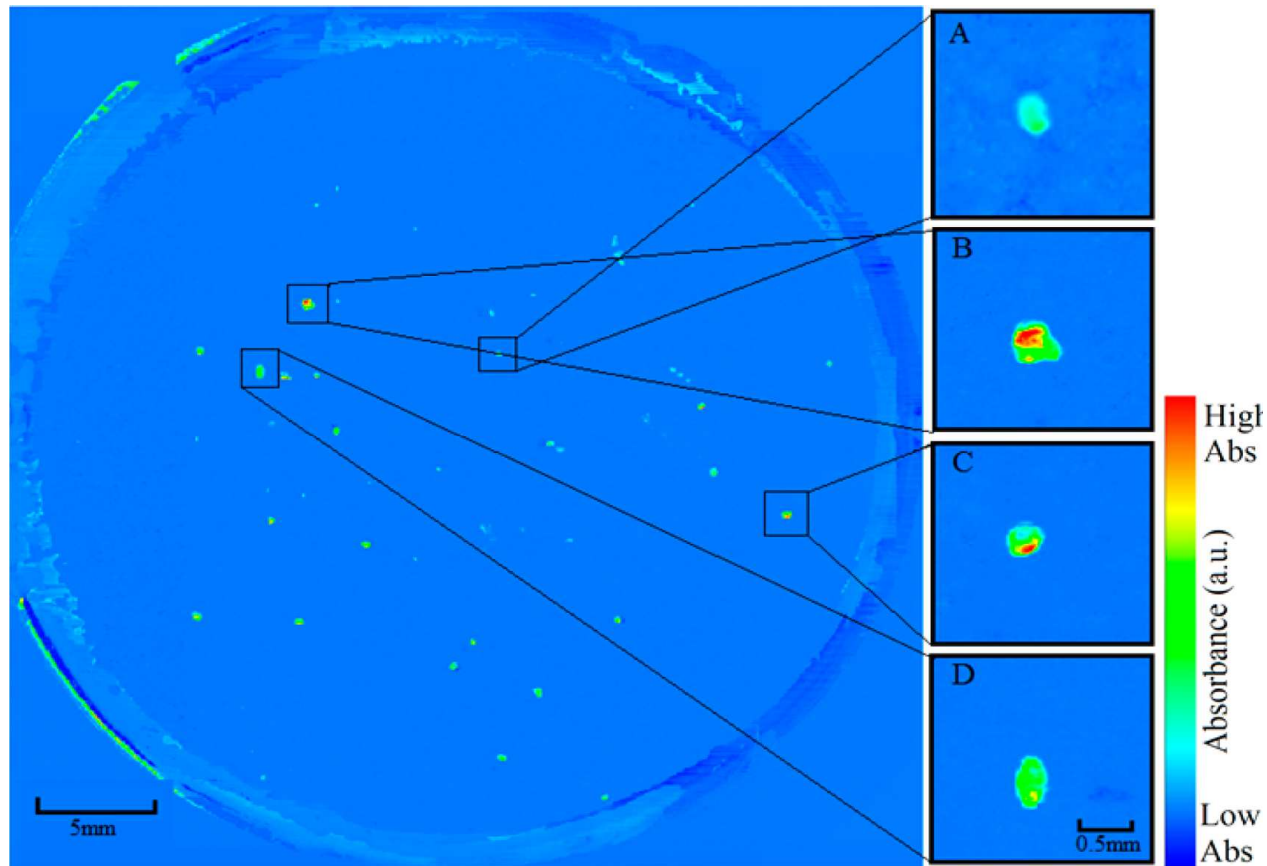
[†]Brunel University London, Experimental Techniques Centre, Institute of Materials and Manufacturing, Bragg Building, Kingston Lane, Uxbridge, Middlesex, United Kingdom, UB8 3PH

- Eine Probe Abwasser wurde künstlich mit 10 Fragmenten PVC, PA, PS, PP und PE versetzt.
- Die Probe wurde mit Peroxid behandelt und auf einen 47 mm Polycarbonat-Filter überführt
- Die Messung erfolgte trocken in Reflexion
- Um die Messung schneller und einfacher zu gestalten, wurde der Filter in 5 Sektoren eingeteilt, die nacheinander vermessen wurden.

Entspricht das realen Bedingungen?



Agilent und die anderen- ein paar Vergleiche



- Für die Probe wurde eine Pixelgröße von 25 x 25 μm verwendet
- Analysezeit **16 h**! (bei einem Scan wären es 9 h)
- Alle Partikel konnten detektiert werden. Bei einem Größenbereich von 200- 500 μm ist das aber auch nicht wirklich überraschend.

Agilent und die anderen- ein paar Vergleiche

Application Note des Mitbewerbs

25 - 100µm Mikrobeads wurden einem Bad entnommen und auf einen Polycarbonat-Filter gegeben

Die Mikroskop-Messung erfolgte mittels Ge ATR in “point and shoot” Modus (keine Imaging oder Mapping)

Für die gleiche Applikation wurde “Ultra Fast Mapping” eingesetzt:

1cm² Fläche; 50 x 50 µm Schritte bei 16 cm⁻¹ Auflösung- Messzeit 30 min

Sieht das nach einem PE Spektrum aus?



Agilent und die anderen- ein paar Vergleiche

In **Gerdts & Loder paper Environ. Chem. 2015, 12, 563–581**

- 4x4 binning –
- 11um Pixelgröße
- 8 cm⁻¹ res

10.5 x 10.5 mm

Messdauer ~ 11 hrs.

Agilent Cary 620 benötigt für die gleiche Auflösung und Pixelgröße (2 x 2 binning) von
~2 hrs.

Ohne Binning haben wir 5.5um Pixelgröße

Diese Messung dauert gerade mal eine Stunde mehr, nämlich

~3 hrs

Agilent und die anderen- ein paar Vergleiche

Field Of View (FOV) Agilent vs. Mitbewerber

Mitbewerber
64 x 64

170µm
170µm

Agilent 64 x 64

350µm
350µm

Agilent 128 x 128

700µm
700µm

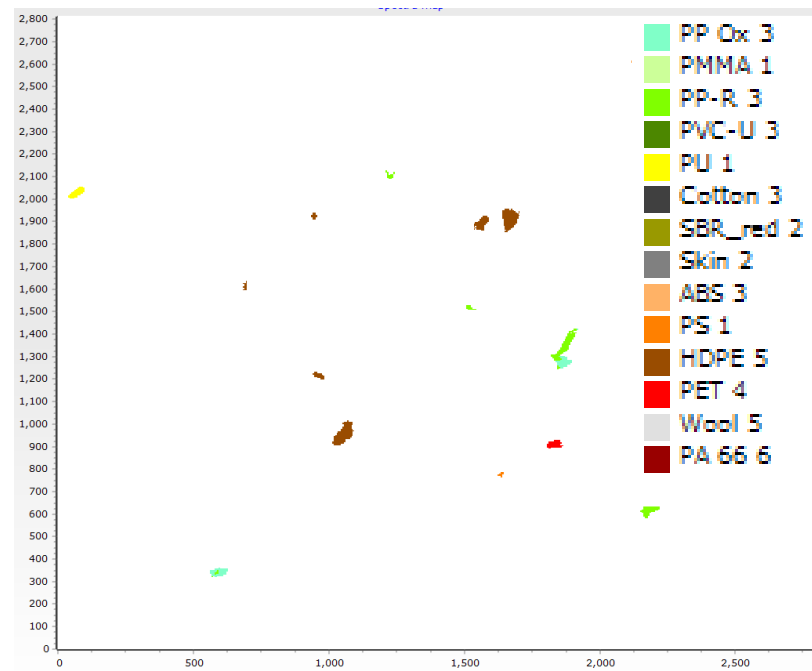
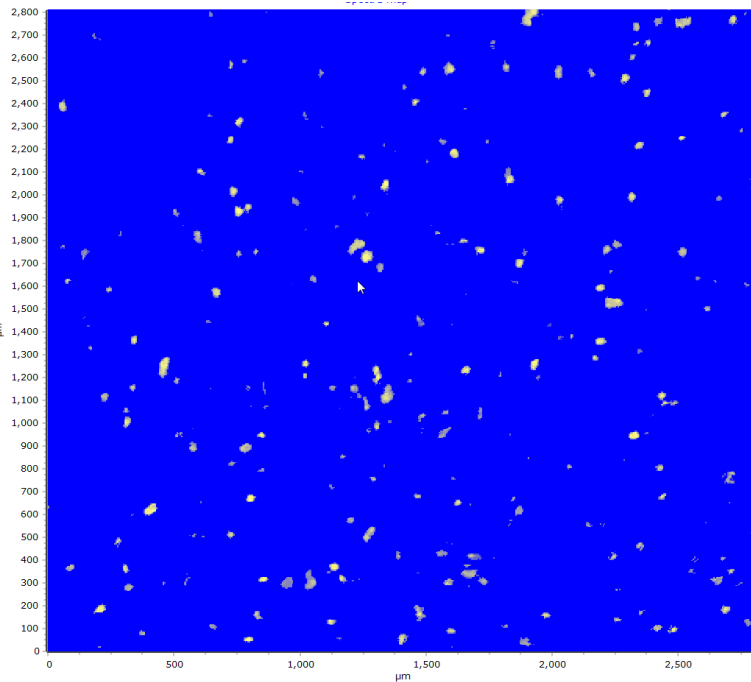


Agilent Technologies

Optimierte, automatische Datenanalyse

Department of Civil Engineering, Aalborg University, Denmark

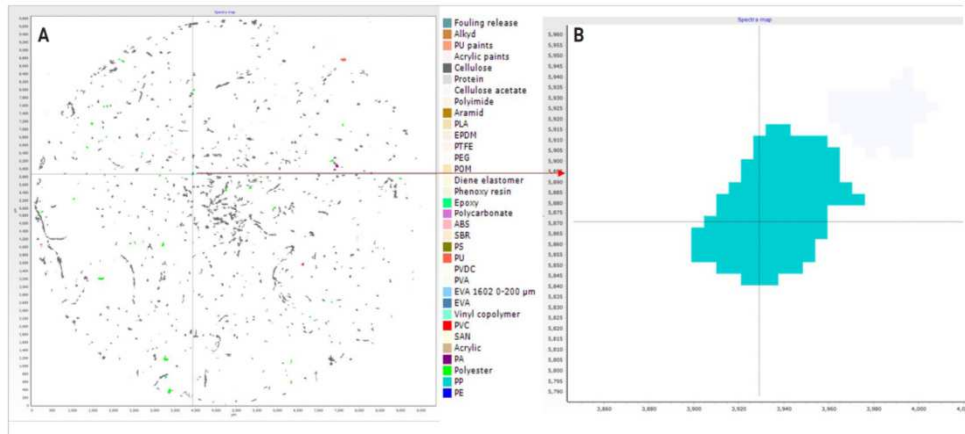
1. Identifizierung von Partikel
2. Größenbestimmung
3. Partikelzählung
1. Gewichtsbestimmung



Agilent Technologies

Optimierte, automatische Datenanalyse

Department of Civil Engineering, Aalborg University, Denmark



Links: farbkodierte Darstellung der identifizierten Partikel und Darstellung eines PP Partikels nach Zoom; rechts: Abgleich eines PP Spektrums mit dem gemessenen Spektrum

Particle ID	% by mass	% by particle count
PE	0.01%	0.11%
PP	0.30%	1.03%
Polyester	3.11%	3.22%
Polyamide (PA)	0.37%	0.69%
PVC	0.15%	0.23%
Polyurethane	1.21%	1.49%
Polystyrene	0.05%	0.11%
Epoxy	0.02%	0.23%
POM	0.01%	0.11%
Cellulose Acetate	0.15%	0.23%
Protein	1.90%	10.57%
Cellulose	92.98%	82.18%
PU paints	0.10%	0.23%
Alkyd	0.16%	0.46%

MP ID	Coordinates (pixels)	Coordinates (µm)	Polymer group	Area on map (µm²)	Major dimension (µm)	Minor dimension (µm)	Volume (µm³)	Mass [ng]
MP_1	1416;630	7788;3465	pe	968	74.3	16.6	6423	6.102
MP_2	111;914	611;5027	pp	182	17.8	13	943	0.896
MP_3	333;1238	1832;6809	pp	938	44.8	26.7	10002	9.502
MP_4	464;1500	2552;8250	pp	61	13.3	5.8	140	0.133

Links: % Massenanteil und % Anteil zur Gesamtanzahl der Partikel

Oben: Partikel info aus der Software MP Hunter

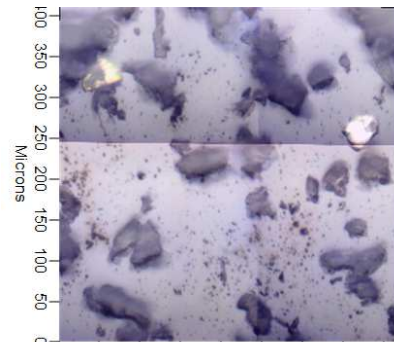


Agilent Technologies

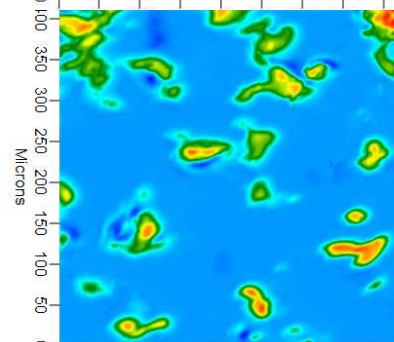
Mikropartikel auf ZnSe Fenster (Transmission)

Transmissions-Messung
Objektiv= 25X, „high mag“; NA= 0.81

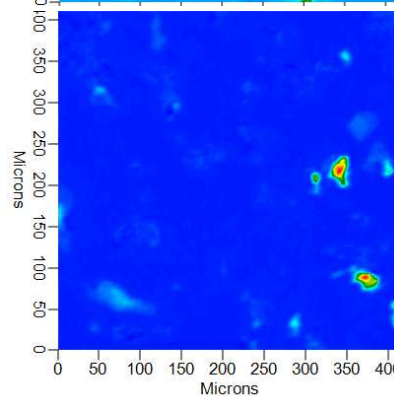
Pixelgröße = 3.3 μm



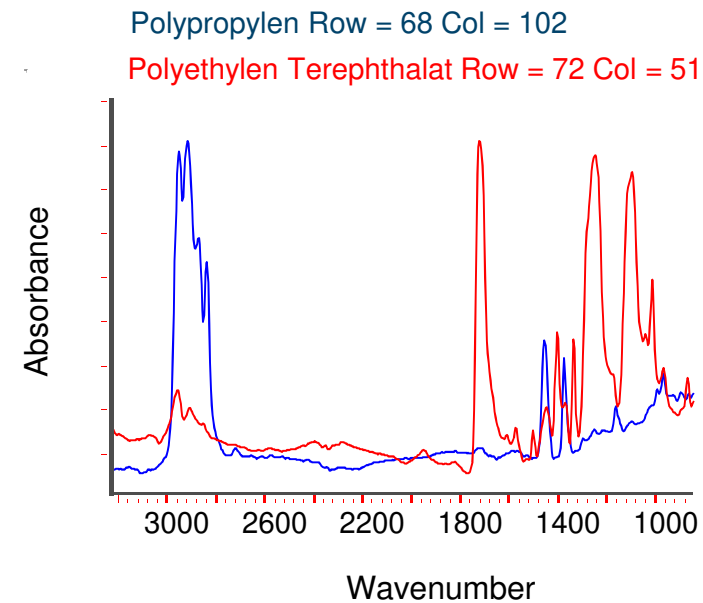
VIS Bild



Verteilung von
Polypropylen-Partikeln,
IR Image @~2914 cm^{-1}



Verteilung von Polyethylen-
Terephthalat Partikeln,
IR Image @~1712 cm^{-1}



FT-IR Spektren von Pixeln 72/51 und 68/102

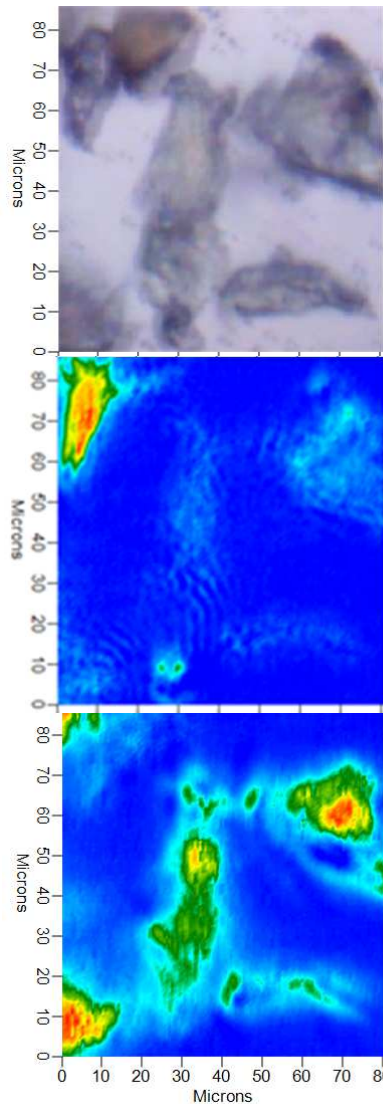


Agilent Technologies

Mikropartikel auf ZnSe Fenster (Transmission)

Transmissions-Messung
Objektiv= 25X, „high mag“; NA= 0.81

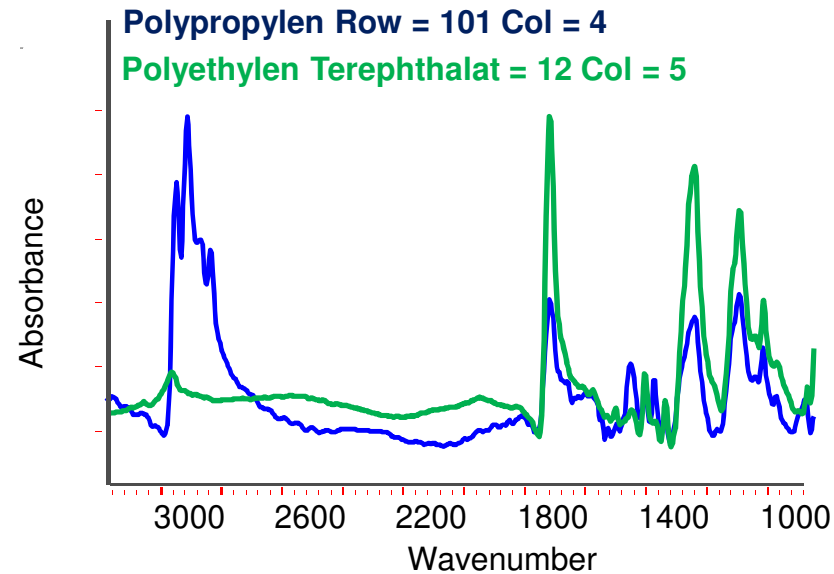
Pixelgröße = 0.7 μm



VIS Bild

Verteilung von
Polypropylen-Partikeln,
IR Image @~2914 cm⁻¹

Verteilung von Polyethylen-
Terephthalat Partikeln,
IR Image @~1712 cm⁻¹



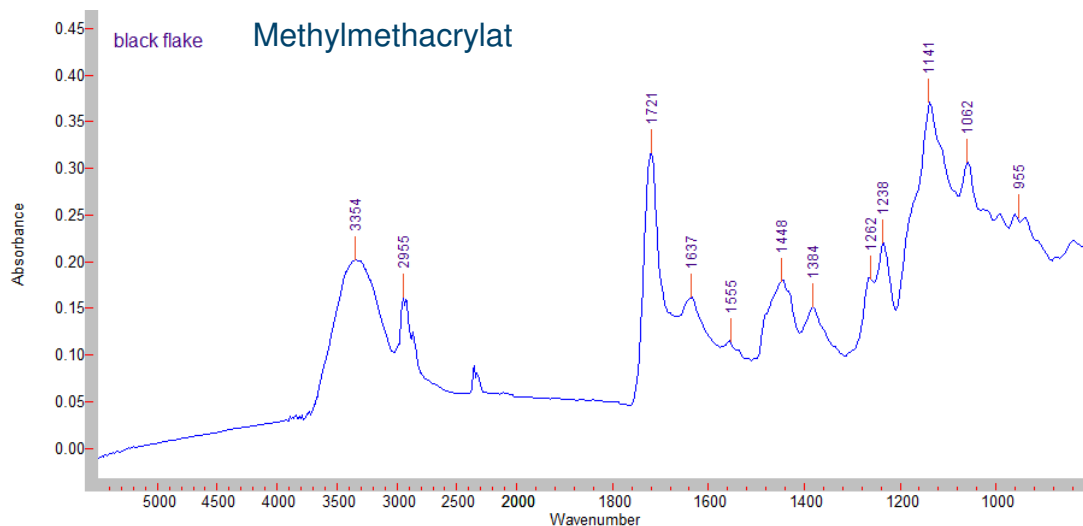
FT-IR Spektren von Pixeln 12/5 und 101/4



ATR Messungen

Vorteil:

Gute Qualität der FTIR
Spektren zur Bestimmung
des Polymer-Typs



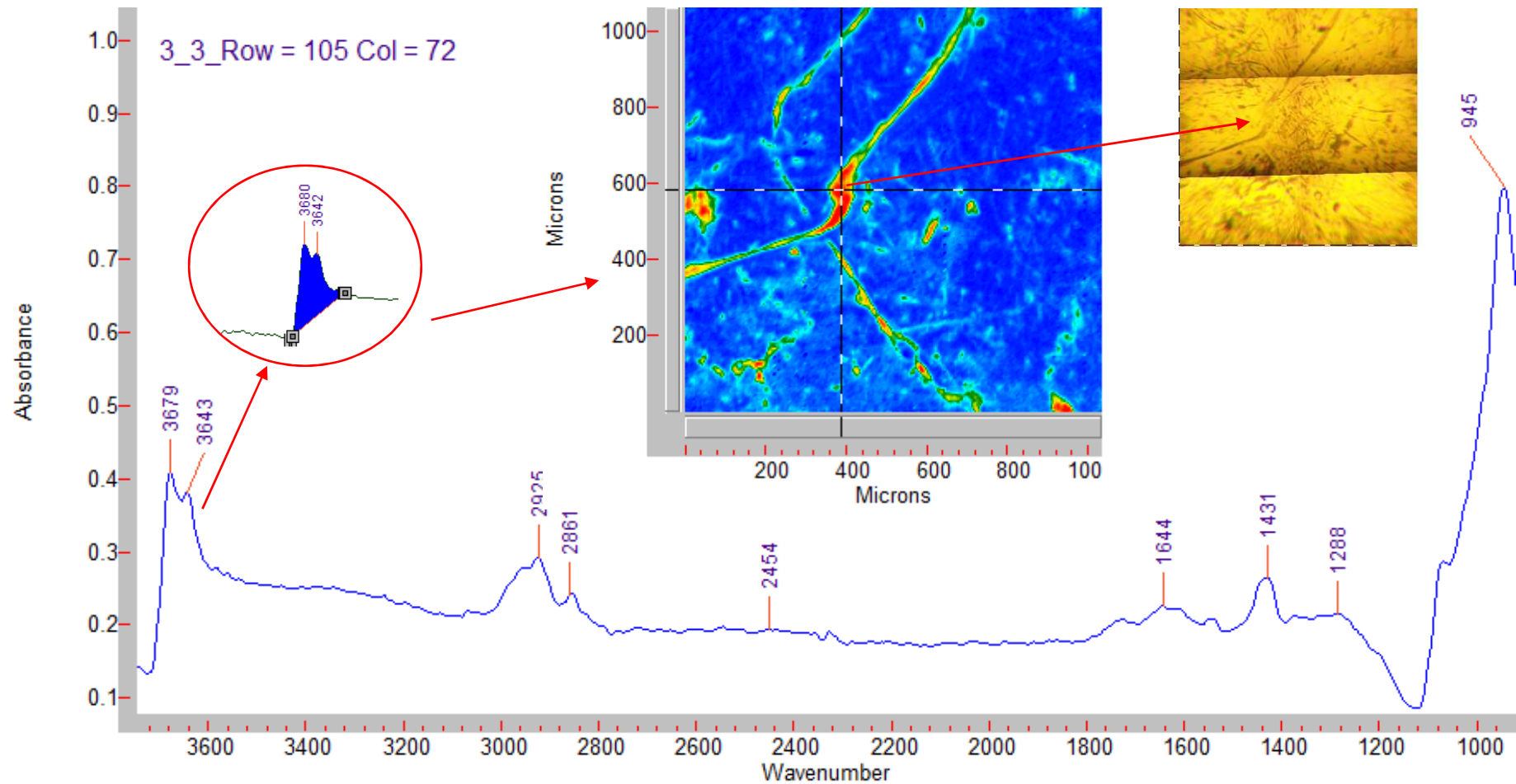
	ZnSe LAATR
FOV of one tile	175 x 175 µm (normal mag) 35 x 35 µm (high mag)
Total Accessible Area	~ 1 x 1 mm
Pixel size	1.4 µm (normal mag) 275 nm (high mag)
Crystal Height	10 mm

Ge und ZnSe/Diamant Option



Agilent Technologies

LAATR Messungen von Schmutz auf Filter



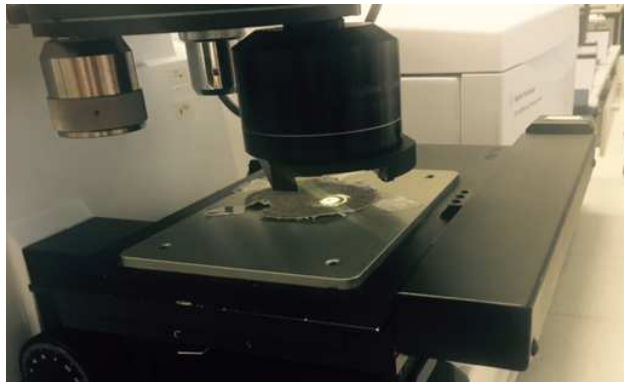
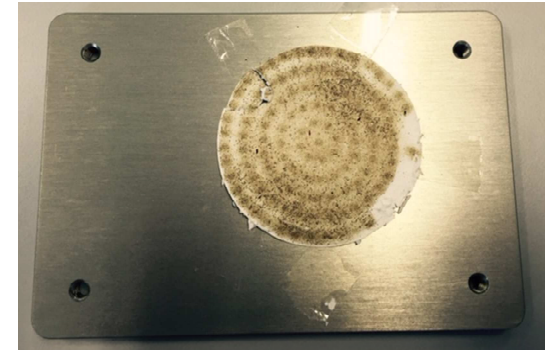
FTIR Spektrum von Pixel 105/72 ATR Mosaicking und IR Verteilung bei 3658 cm⁻¹.



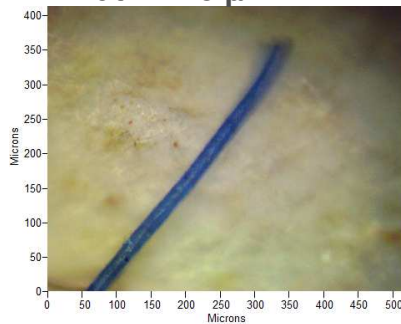
Agilent Technologies

LAATR Messungen- Germanium

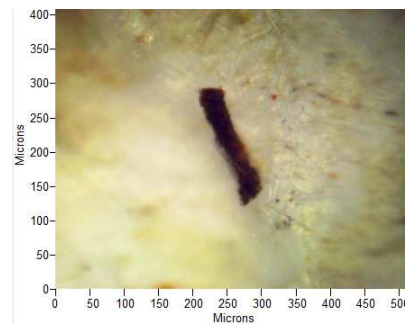
Der Filter wurde ohne weitere Probenpräp verwendet.
Die Probe wurde zunächst über die Video-Kamera
visualisiert und dann der interessante Bereich
abgescannt.



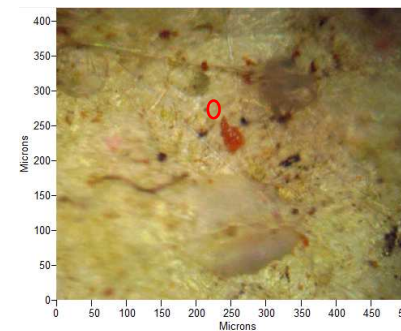
Polypropylene
width ~ 20 μm



Protein-Lecithine
width ~ 34 μm Length ~ 280 μm



Polyurethane width ~ 17 μm



Reflexionsmessungen

Vorteil gegenüber ATR:

Imaging system mit automatischer Stage– ermöglicht Messungen sehr großer Flächen (Durchmesser der Filter ~10mm)

Detektion von Partikeln $< 2 \mu\text{m}$

Nachteil ^{*8}:

“Refractive error resulting from the superposition of directed and undirected reflection of the IR radiation by irregular shaped particle surfaces”

Für qualitative gute Ergebnisse in Reflexion muss direkt auf die Oberfläche des Partikels fokussiert werden, was bei unregelmäßig geformten Partikeln herausfordernd ist.

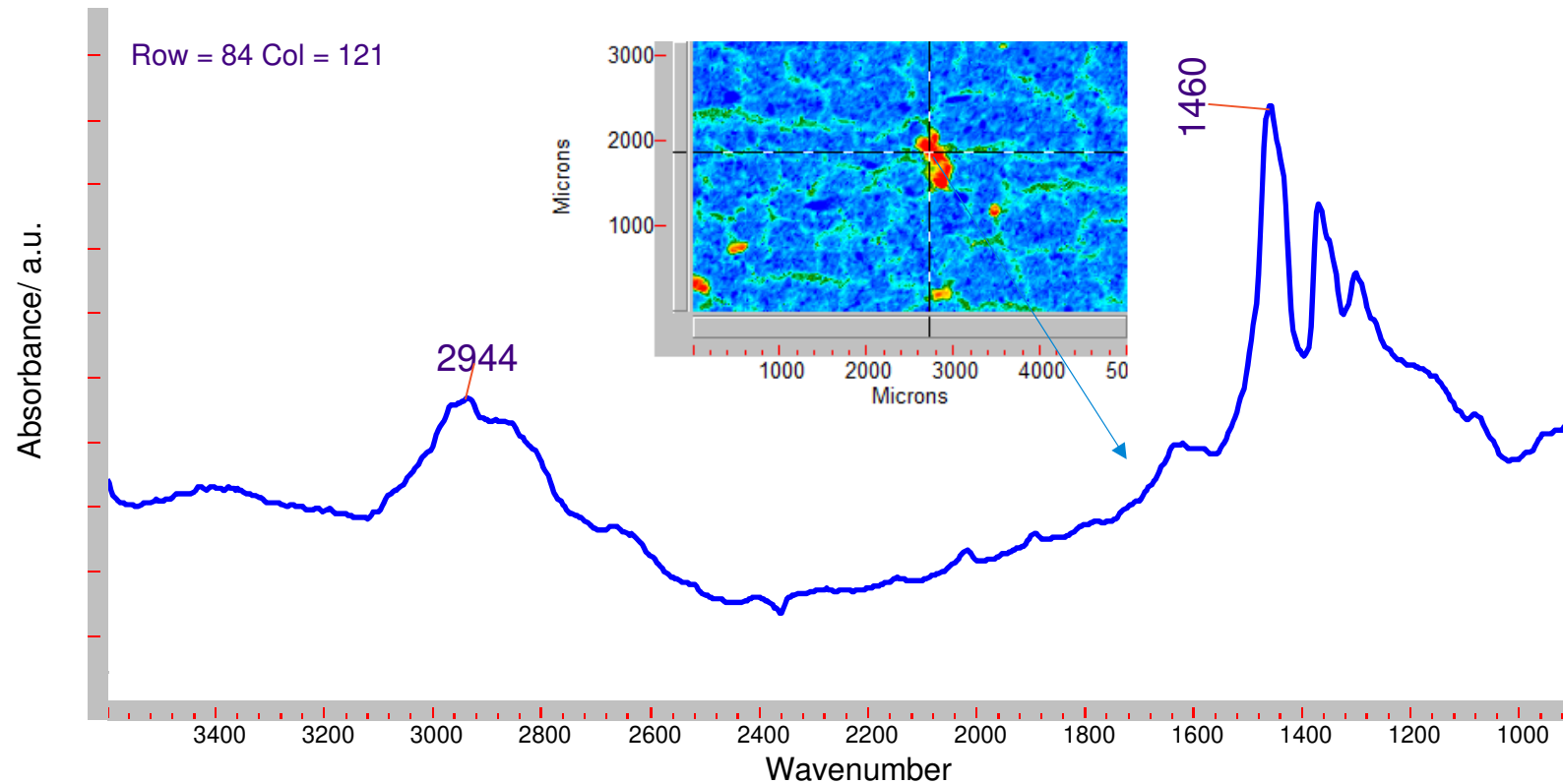
*

⁸ Joachim Löffler et al.; Focal plane array detector-based micro-Fourier-transform infrared imaging for the analysis of microplastics in environmental samples; *Environ. Chem.*
<http://dx.doi.org/10.1071/EN14205>



Agilent Technologies

Reflexionsmessungen



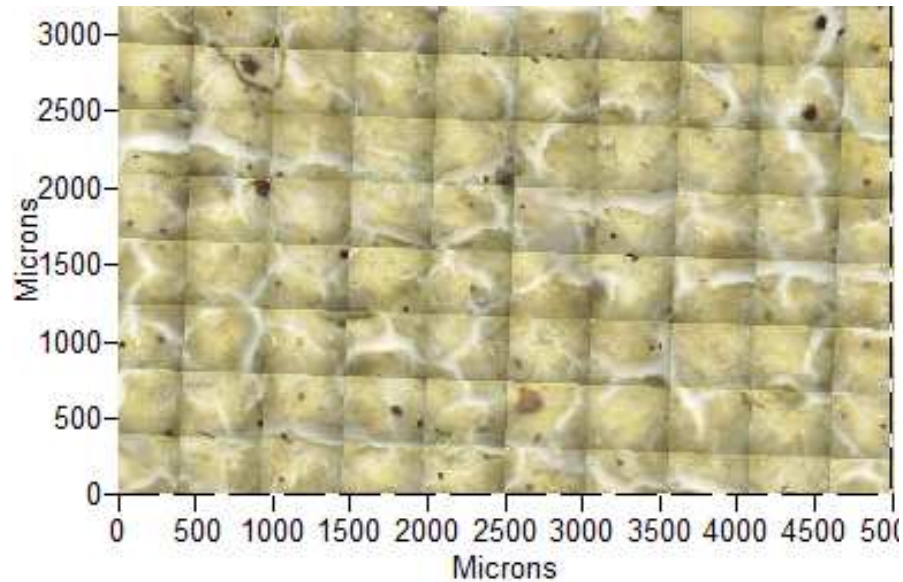
FTIR spectrum collected von Pixel 84/121 der Probe „Dksed_45_250 µm“ und IR Verteilung bei 1460 cm⁻¹.



Agilent Technologies

Reflexionsmessungen

Vis Bild



IR Verteilung bei 1460 cm⁻¹

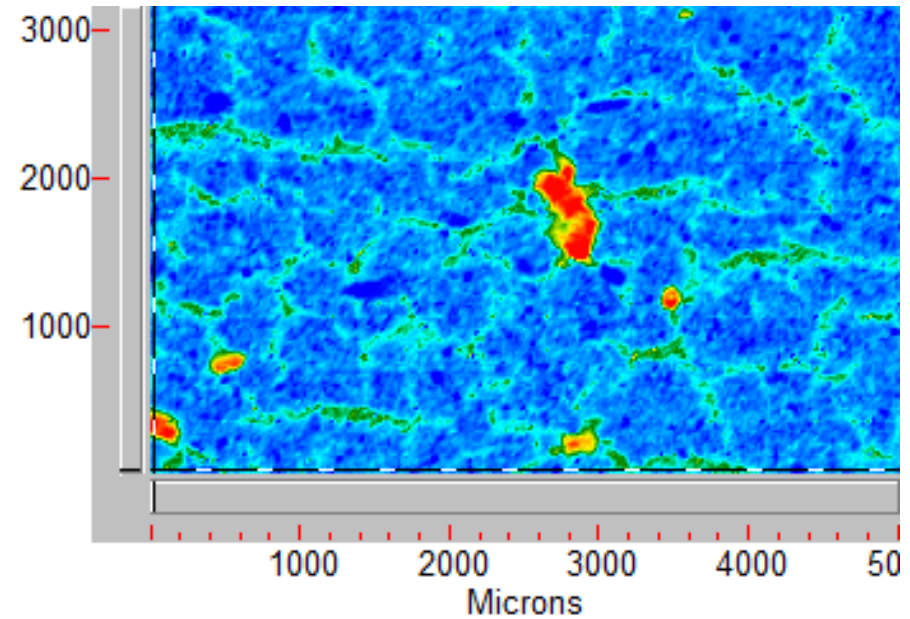
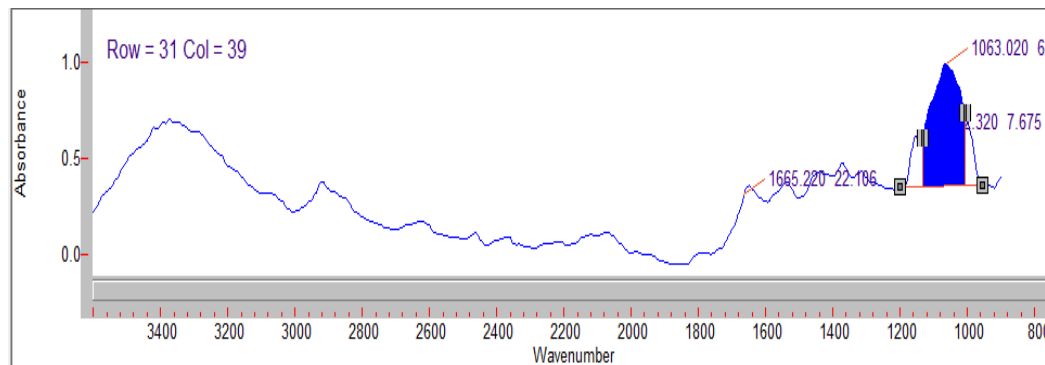
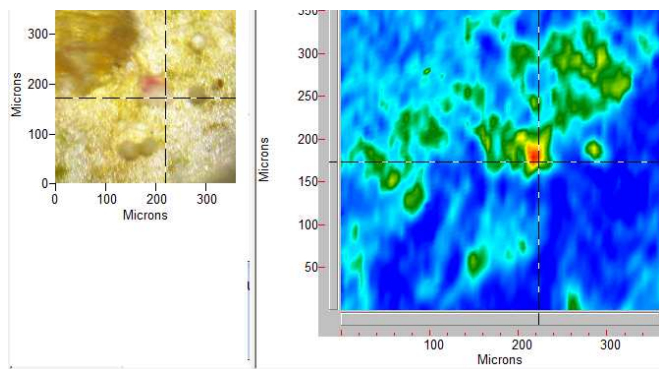


Figure : 9 X 14 Mosaik der probe “Dksed_45_250 µm;

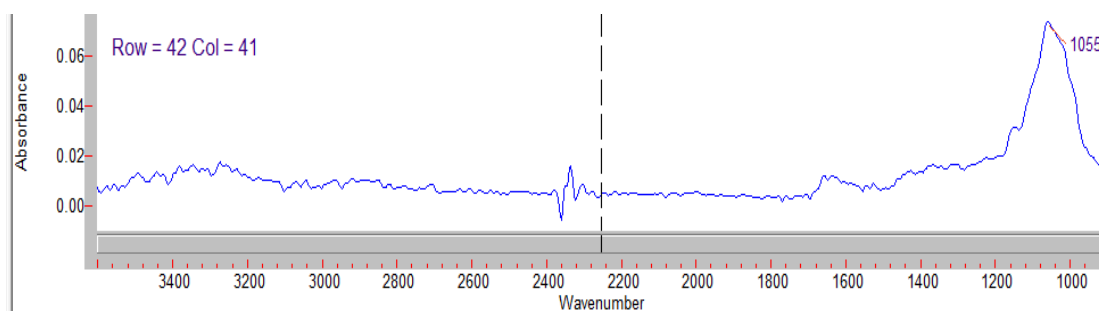
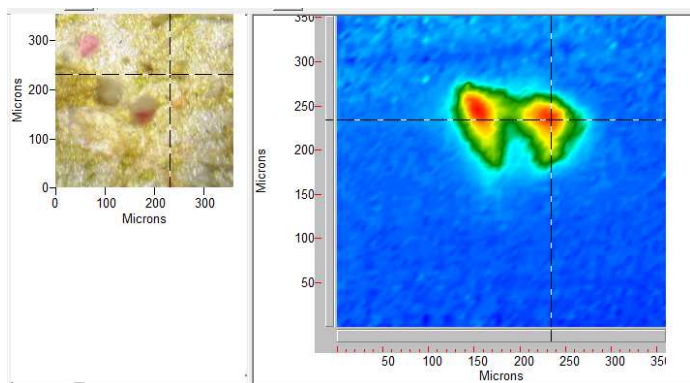
Die Messzeit für eine Fläche von **3.1 X 5 mm** betrug **66 min** [16 Scans pro Einzelmessung].



Reflexionsmessungen

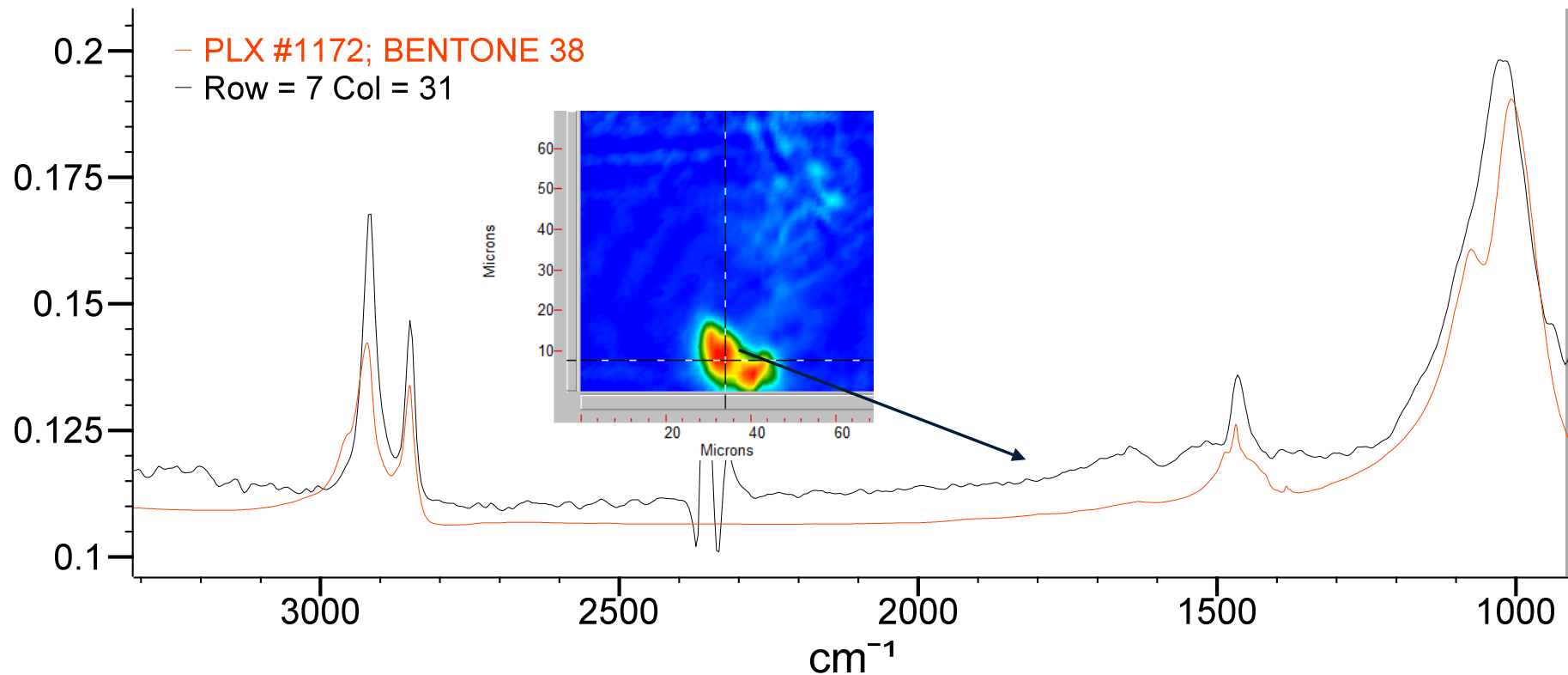


Verteilung bei 1063 in Reflexion/Probe auf Ag Filter//res 8 und 64 Scans



Verteilung bei 1055 mit ATR/Probe auf Ag Filter //res 8 und 64 Scans

Reflexionsmessungen



Ergebnis aus Know It All: FTIR Spektrum von Pixel 7/31 der Probe „Dksed_45_250 μm “ und FTIR Spektrum von Bentone 38 [Bibliothek : PLX; Polymer Additive; Spektrum: 1172].

Bentonit = Gestein/ Mischung verschiedener Tonmineralien



Agilent Technologies

Höchste Flexibilität

Objective	Pixel resolution	Measurement mode	Magnification	Field of View/ μm 128 FPA	
15 x	5.5 μm	Reflection& transmission	Normal	700 x 700 μm	
15 x	1.1 μm	Reflection& transmission	High mag	140 x 140 μm	
25 x	3.3 μm	Reflection& transmission	Normal	420 x 420 μm	
25 x	0.7 μm	Reflection& transmission	High mag	140 x 140 μm	
4 x	19 μm	Reflection& transmission	normal	2432 x 2432 μm	
15 x	1.4 μm	Ge LA-ATR		normal	179 x 179 μm
15 x	0.3 μm	Ge LAATR		High mag	38 x 38 μm
25 x	1.4 μm	ZnSe-LA-ATR		normal	179 x 179 μm
25 x	0.3 μm	ZnSe-LAATR		High mag	38 x 38 μm
25 x	0.8 μm	Ge LAATR		normal	105 x 105 μm
25 x	0.17 μm	Ge LAATR		High mag	25 x 25 μm



Geschwindigkeit des Agilent Cary 620 Systems

In the **Gerdts & Loder paper Environ. Chem. 2015, 12, 563–581**

- 4x4 binning –
- 11um Pixelgröße
- 8 cm⁻¹ res

10.5 x 10.5 mm

Messdauer ~ 11 hrs.

Agilent Cary 620 benötigt für die gleiche Auflösung und Pixelgröße (2 x 2 binning) von
~2 hrs.

Ohne Binning haben wir 5.5um Pixelgröße

Diese Messung dauert gerade mal eine Stunde mehr, nämlich

~3 hrs



Agilent Technologies



andreas.kerstan@agilent.com

