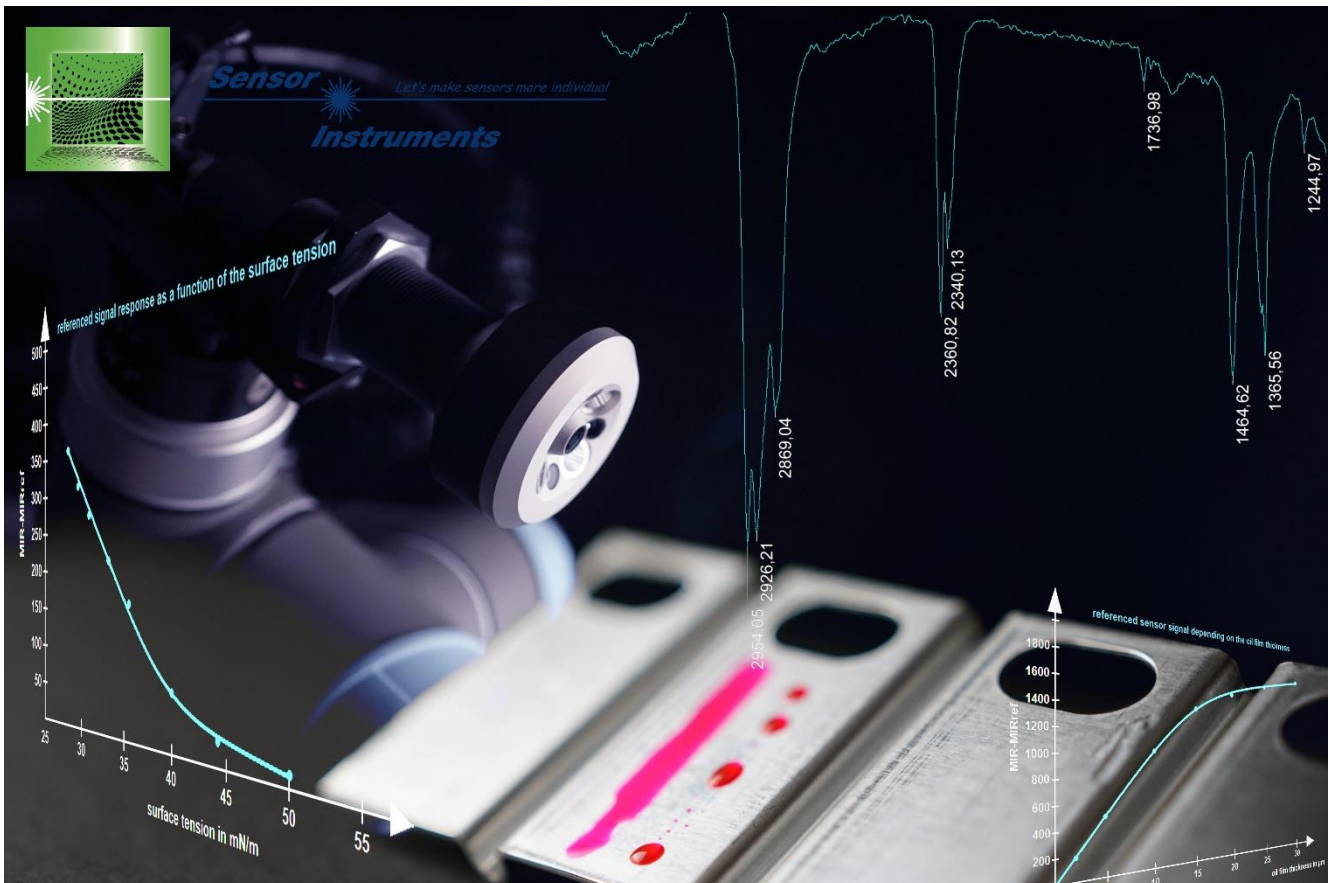


SPECTRO-M-10-MIR

Controllo in linea di sottili strati di olio sul metallo



Il metodo di misura MIR implementato nei sensori SPECTRO-M è stato sviluppato da Sensor Instruments per rilevare strati organici molto sottili su superfici metalliche. Ecco perché i sensori SPECTRO-M sono praticamente predestinati al rilevamento e al controllo in linea di sottili film di olio su metallo.

In pratica si tratta di controllare il processo di disoleazione di componenti o di monitorare l'omogeneità di uno strato di olio. Durante i test che hanno accompagnato lo sviluppo, abbiamo inoltre scoperto che il sistema è in grado di determinare molto bene le proprietà di evaporazione e i residui di olio degli oli da taglio su superfici metalliche in condizioni di applicazione realistiche (strati sottili).

A tal fine abbiamo eseguito anche dei test su oli per trancitura speciali della Serie CLF di Raziol, i cui risultati sono riassunti alla sezione 6 del documento.

Questo documento descrive il principio del sensore in linea SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) della Sensor Instruments. Altri sensori SPECTRO-M del tipo con altre geometrie di misura sono in fase di sviluppo. Inoltre, in qualità di sviluppatori di sensori speciali, siamo anche in grado di adattare la tecnologia alle applicazioni speciali e alle esigenze dei clienti.

Contenuto:

1	Introduzione.....	4
2	Principio di funzionamento SPECTRO-M-10-MIR	4
3	Metodi di riferimento per la determinazione della tensione superficiale	9
3.1	Tensione superficiale e tensione interfacciale	9
3.2	Determinazione della tensione superficiale mediante la misurazione dell'angolo di contatto	12
3.3	Determinazione della tensione superficiale con il metodo dell'inchiostro di prova	14
3.4	Metodo di riferimento e misurazione in linea	16
4	Applicazioni per i sensori SPECTRO-M.....	16
5	Misure di prova su diversi oli	17
5.1	Motivi per la misurazione di strati di olio su superfici metalliche.....	17
5.2	Metodo dell'inchiostro di prova - un metodo di misura di riferimento ampiamente utilizzato per il controllo dell'olio residuo.....	18
5.3	Impostazione e metodologia di misura	19
5.4	Elenco dei tipi di olio testati.....	21
5.5	Controllo dei residui di olio con SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2)	22
5.5.1	<i>Sensore MIR e applicazione.....</i>	22
5.5.2	<i>Confronto della tensione superficiale dei diversi oli con circa lo stesso spessore dello strato d'olio</i>	23
5.5.3	<i>Dipendenza del segnale di misura MIR dal tempo</i>	24
5.5.4	<i>Correlazione tra il segnale MIR e la tensione superficiale misurata per tipo di olio.....</i>	24
5.5.5	<i>Confronto dei valori misurati MIR in funzione della tensione superficiale.....</i>	29
5.5.6	<i>Confronto del metodo MIR con i sensori UVA e UVC</i>	30
5.5.7	<i>Riepilogo controllo dei residui d'olio</i>	31
5.6	Controllo in linea dello spessore dello strato di olio	32
5.7	Misurazione dell'evaporazione di strati di olio.....	35
6	Misurazioni di prova sulla serie CLF 11	37
6.1	Metodologia di prova e metodo di riferimento.....	37
6.2	Specifiche del produttore per la serie CLF 11.....	38
6.3	Raziol CLF 11 L	40
6.3.1	<i>Tempo di evaporazione dei componenti volatili contenuti nell'olio</i>	40
6.3.2	<i>Correlazione tra lo spessore dello strato di olio e il segnale normalizzato misurato.....</i>	41
6.3.3	<i>Segnale del sensore normalizzato in funzione della tensione superficiale</i>	42
6.4	Raziol CLF 11.....	43
6.4.1	<i>Tempo di evaporazione dei componenti volatili contenuti nell'olio</i>	43
6.4.2	<i>Correlazione tra lo spessore dello strato di olio e il segnale normalizzato misurato.....</i>	43
6.4.3	<i>Segnale del sensore normalizzato in funzione della tensione superficiale</i>	44
6.5	Raziol CLF 11 W 10	45
6.5.1	<i>Tempo di evaporazione dei componenti volatili contenuti nell'olio</i>	45
6.5.2	<i>Correlazione tra lo spessore dello strato di olio e il segnale normalizzato misurato.....</i>	46
6.5.3	<i>Segnale del sensore normalizzato in funzione della tensione superficiale</i>	46
6.6	Raziol CLF 11 W 25	47
6.6.1	<i>Tempo di evaporazione dei componenti volatili contenuti nell'olio</i>	47
6.6.2	<i>Correlazione tra lo spessore dello strato di olio e il segnale normalizzato misurato.....</i>	48
6.6.3	<i>Segnale del sensore normalizzato in funzione della tensione superficiale</i>	48

6.7	Raziol CLF 11 SE.....	49
6.7.1	<i>Tempo di evaporazione dei componenti volatili contenuti nell'olio</i>	49
6.7.2	<i>Correlazione tra lo spessore dello strato di olio e il segnale normalizzato misurato.....</i>	50
6.7.3	<i>Segnale del sensore normalizzato in funzione della tensione superficiale</i>	50
6.8	Raziol CLF 11 S.....	51
6.8.1	<i>Tempo di evaporazione dei componenti volatili contenuti nell'olio</i>	51
6.8.2	<i>Correlazione tra lo spessore dello strato di olio e il segnale normalizzato misurato.....</i>	52
6.8.3	<i>Segnale del sensore normalizzato in funzione della tensione superficiale</i>	52
6.9	Raziol CLF 11 SB.....	53
6.9.1	<i>Tempo di evaporazione dei componenti volatili contenuti nell'olio</i>	53
6.9.2	<i>Correlazione tra lo spessore dello strato di olio e il segnale normalizzato misurato.....</i>	54
6.9.3	<i>Segnale del sensore normalizzato in funzione della tensione superficiale</i>	54
6.10	Raziol CLF 11 SD.....	55
6.10.1	<i>Tempo di evaporazione dei componenti volatili contenuti nell'olio</i>	55
6.10.2	<i>Correlazione tra lo spessore dello strato di olio e il segnale normalizzato misurato.....</i>	56
6.10.3	<i>Segnale del sensore normalizzato in funzione della tensione superficiale</i>	56
6.11	Raziol CLF 11 SF	57
6.11.1	<i>Tempo di evaporazione dei componenti volatili contenuti nell'olio</i>	57
6.11.2	<i>Correlazione tra lo spessore dello strato di olio e il segnale normalizzato misurato.....</i>	58
6.11.3	<i>Segnale del sensore normalizzato in funzione della tensione superficiale</i>	58
6.12	Raziol CLF 11 SG.....	59
6.12.1	<i>Tempo di evaporazione dei componenti volatili contenuti nell'olio</i>	59
6.12.2	<i>Segnale del sensore normalizzato in funzione della tensione superficiale</i>	60

1 Introduzione

La Serie SPECTRO-M si basa su un principio di misura noto dalla spettroscopia vibrazionale o di assorbimento.

La spettroscopia vibrazionale è in senso lato l'analisi dei materiali per irraggiamento con luce di diverse lunghezze d'onda (energia). La luce irradiata viene parzialmente convertita (assorbita) in vibrazioni molecolari nel materiale e la radiazione riemessa viene registrata in forma di spettri. Dagli spettri vibrazionali si possono ottenere informazioni sulla struttura molecolare delle sostanze organiche. Possono quindi essere utilizzati per determinare e controllare le proprietà chimiche e fisiche.

Nella spettroscopia IR i gradi di libertà di vibrazione delle molecole, noti nella fisica quantistica, vengono eccitati dalla luce infrarossa. Si osservano in questo caso bande di assorbimento nello spettro IR. Le bande delle prime armoniche sono nel Medio Infrarosso (MIR, ~ 2500nm - 16000nm), le oscillazioni della combinazione o oscillazioni armoniche sono nel Vicino Infrarosso (NIR, ~ 800nm - 2500nm). Le bande di assorbimento NIR sono di solito ampie, strutture sovrapposte, mentre l'assorbimento MIR è riprodotto in bande strette.

Sebbene l'assorbimento delle bande NIR sia di ordini di grandezza inferiori a quello delle prime armoniche, fornisce informazioni sufficienti per classificare i polimeri. I processi di assorbimento NIR sono oggi utilizzati nel riciclaggio della plastica. L'assorbimento MIR è adatto per la caratterizzazione di sottili strati organici su metalli.

La famiglia SPECTRO-M della Sensor Instruments è costituita da sensori in linea che valutano il diverso comportamento di assorbimento dei materiali organici nel MIR al fine di ottenere informazioni qualitative e quantitative sugli strati organici dei metalli nel processo di produzione.

Un campo interessante per la prova dei rivestimenti organici sui metalli è il controllo dello strato di olio o la misurazione dello strato di olio. Nella lavorazione dei metalli si utilizzano oli speciali che ottimizzano il processo di tranciatura o di imbutitura, ma che devono essere rimossi senza lasciare residui dopo la lavorazione.

La prova in linea dell'oliatura di parti metalliche, o la rimozione di questa oliatura, è una sfida metrologica che è diventata sempre più complessa a causa della presenza di strati sempre più sottili e di formulazioni e funzioni dell'olio più specifiche.

La valutazione delle superfici viene spesso effettuata testando la tensione superficiale o interfacciale. Due metodi comuni per la misurazione della tensione superficiale sono il metodo dell'inchiostro di prova e la misurazione dell'angolo di contatto, che viene quindi trattato brevemente in questo documento

Infine, abbiamo anche incluso una sintesi delle nostre indagini sugli oli per tranciatura e imbutitura con SPECTRO-M-10-MIR e abbiamo confrontato i risultati con il metodo dell'inchiostro rosso di prova. Ciò comporta il rilevamento di minimi residui di olio o la registrazione metrologica di spessori dello strato differenti. Inoltre, esistono oli che evaporano in una finestra temporale definita, ma che, più o meno, lasciano residui sulla superficie. La misura riproducibile delle proprietà di evaporazione dovrebbe essere interessante per i produttori di tali oli.

2 Principio di funzionamento SPECTRO-M-10-MIR

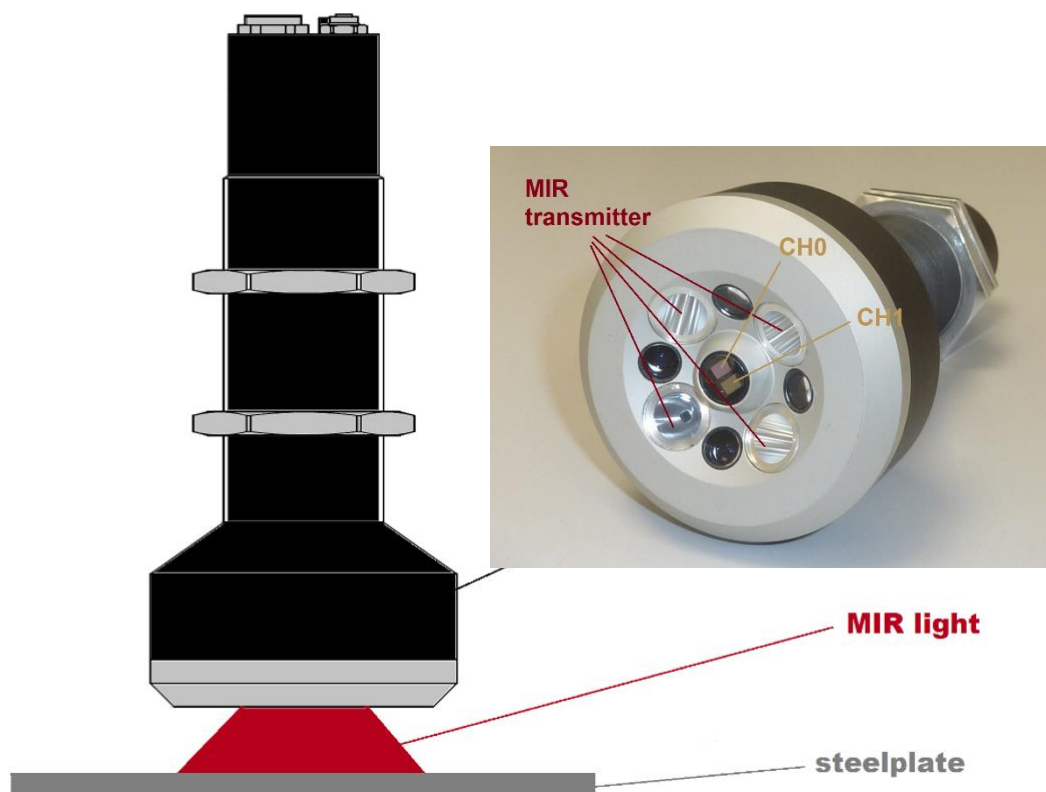
Con un sistema di misura in linea, la capacità di misurare senza contatto è di cruciale importanza. Naturalmente, il tempo necessario a determinare i valori di misura deve anche stare al passo con il tempo di alimentazione dei componenti. Inoltre, il sistema di misura deve essere robusto, compatto e dotato di diverse interfacce, in modo da poter inviare i dati di misura al sistema di controllo superiore o ad un PLC, possibilmente in tempo reale.

Lo **SPECTRO-M-10-MIR(MIR1+MIR2)** è un sensore dotato di un'illuminazione relativamente a banda larga per la gamma MIR. Sul lato del ricevitore sono presenti due finestre di misura (campi di lunghezza d'onda) che vengono confrontate tra loro in modo standardizzato. Una di queste finestre serve da riferimento e si comporta in modo neutrale rispetto agli oli in prima approssimazione, mentre nella seconda finestra si può determinare un assorbimento causato dall'olio. Con l'aiuto del software Windows® **SPECTRO MIR Scope V1.0** Windows® fornito in dotazione, è possibile effettuare misurazioni di prova e memorizzare i valori di misura oltre alla

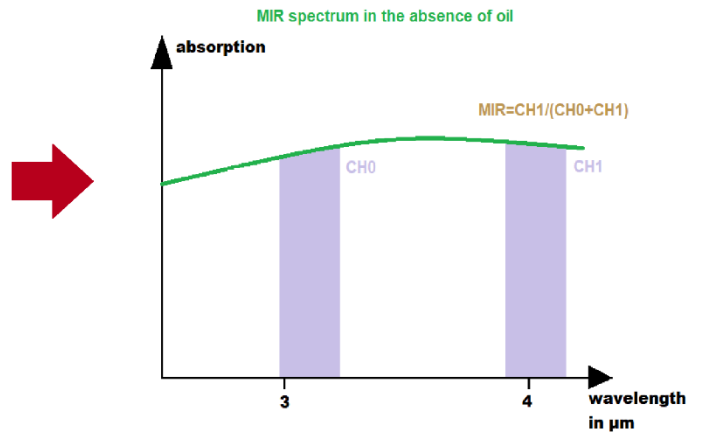
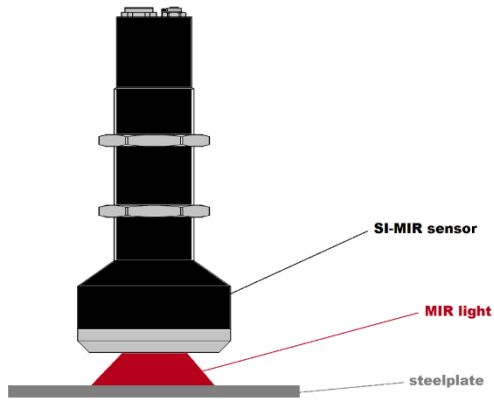
parametrizzazione del sensore. Per il funzionamento in linea è disponibile un software di monitoraggio, con il quale i valori di misura attuali possono essere visualizzati su uno schermo o i dati misurati possono essere registrati in file ASCII.

In concomitanza con lo sviluppo di SPECTRO-M-MIR, sono stati testati con i nostri sensori ottici una serie di oli per la tranciatura e imbutitura disponibili in commercio. Abbiamo anche analizzato e confrontato gli effetti della misurazione nell'intervallo UVC (255nm, SPECTRO-1-UVC) e la fluorescenza UVA (SPECTRO-3-UV) e l'assorbimento nell'intervallo MIR (5 μ m).

Tutti i tipi di olio per tranciatura e imbutitura finora testati hanno potuto essere misurati con la procedura MIR. Per lo SPECTRO-M-10-MIR è risultata essere il campo spettrale di lavoro ottimale una finestra di misura compresa tra 3 μ m und 4 μ m. Il metodo comparativo di due campi spettrali fornisce risultati di misura MIR normalizzati in cui le proprietà di riflessione della superficie di contatto possono già essere in gran parte compensate. Poiché i diversi oli hanno assorbimenti MIR diversi, è necessaria una calibrazione alla superficie metallica priva di olio (MIRreff). Se si desidera convertire i valori di misura nelle unità di un sistema di riferimento, ad esempio se i valori della tensione superficiale, incluso il metodo dell'inchiostro di prova, devono essere emessi come valore di misura in mN/m, occorre creare una volta una calibrazione corrispondente di riferimento (CONVERSIONE). I seguenti schizzi mostrano la modalità di funzionamento basilare dei sensori MIR:

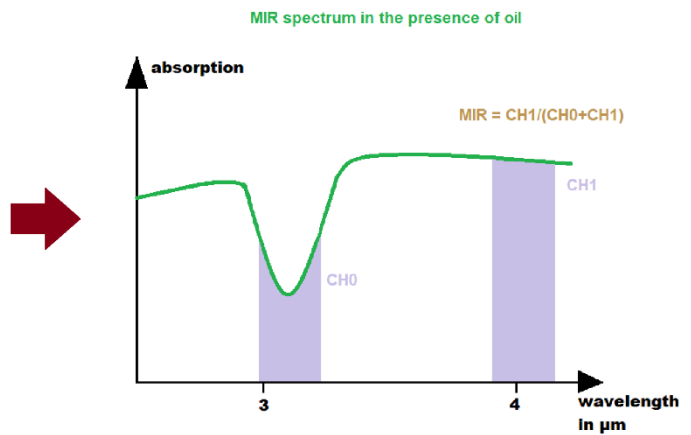
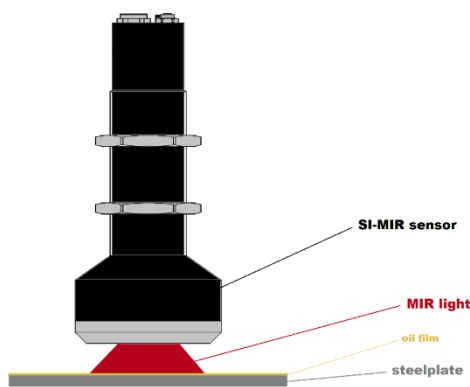


I trasmettitori MIR a banda larga coprono il campo spettrale richiesto per le due finestre di misura CH0 e CH1. Una parte della luce riflessa dalla superficie metallica colpisce le due finestre di misura: una finestra di misura (CH0) reagisce alla presenza di un film d'olio, mentre l'altra finestra di misura (CH1) non viene pressoché influenzata dalla presenza di un film d'olio (finestra di riferimento). Mediante una valutazione standardizzata si ottiene un valore di misura indipendente dall'intensità:

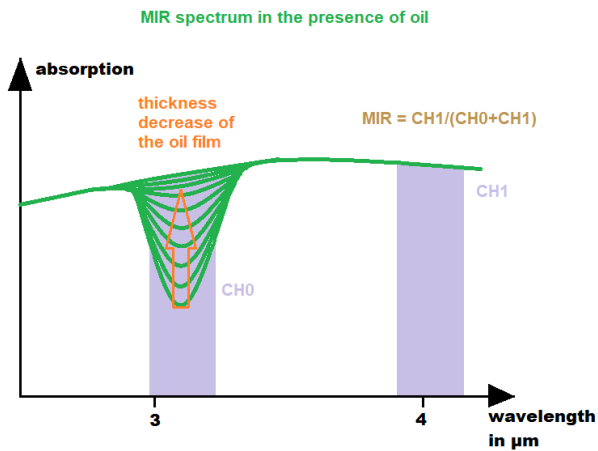


MIR = CH1/(CH0+CH1)

Nello schizzo qui sopra non è presente alcun film d'olio sulla superficie metallica. Entrambe le finestre di misura forniscono approssimativamente lo stesso livello di segnale (valore normalizzato = MIRref). Nel seguente schizzo, invece, il livello del segnale della finestra di misura CH0 crolla regolarmente, il che porta ad uno spostamento del valore standard MIR.



Più spesso è lo strato d'olio, più violenta è la caduta del segnale nella finestra di misura CH0:

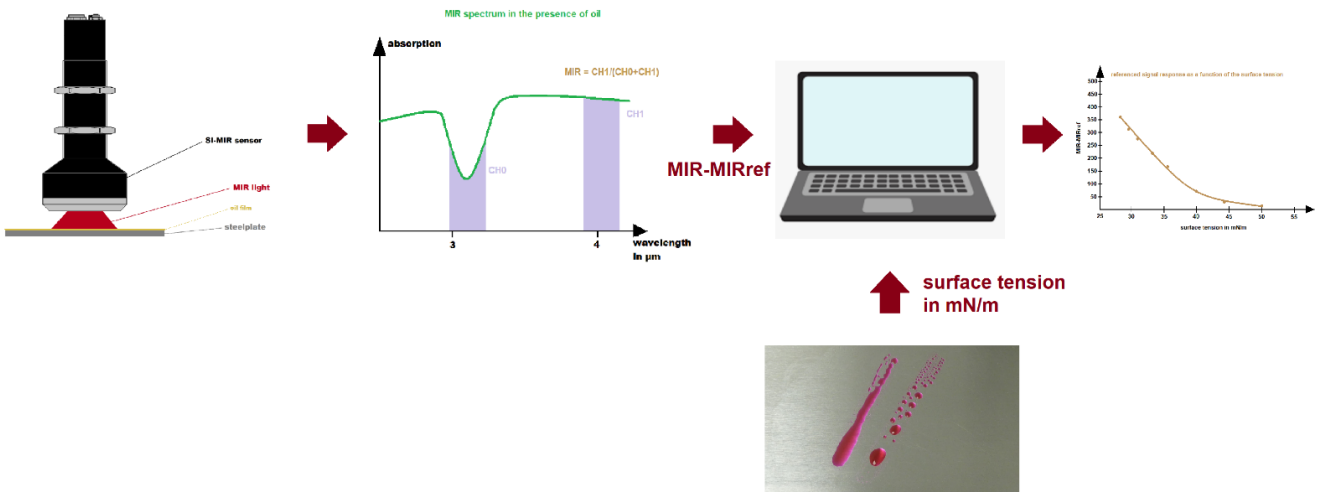


Dai due segnali si può calcolare un valore normalizzato, $MIR = CH1 / (CH0 + CH1)$, che rappresenta entrambi i canali. Questo valore standard è inizialmente un valore proprietario, che viene determinato dai parametri del sensore, dall'olio e dalla superficie metallica. Tramite il software del sensore, tuttavia, è possibile correlare il

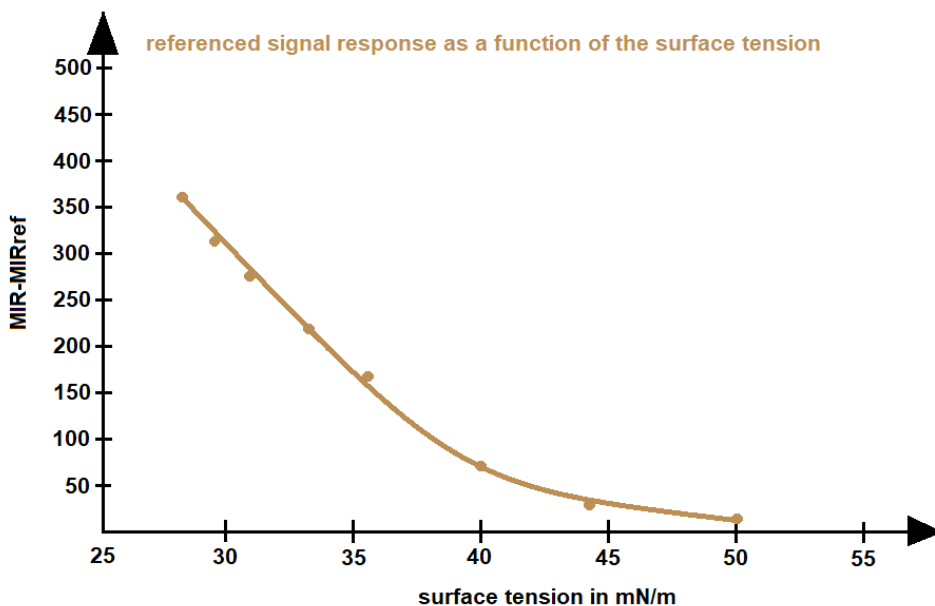
valore standard con un metodo di misura di riferimento ed emetterlo come "valore misurato calibrato" in formato di riferimento.

Esempio: Metodo dell'inchiostro rosso (mN/m) come esempio di calibrazione di un sistema di riferimento:

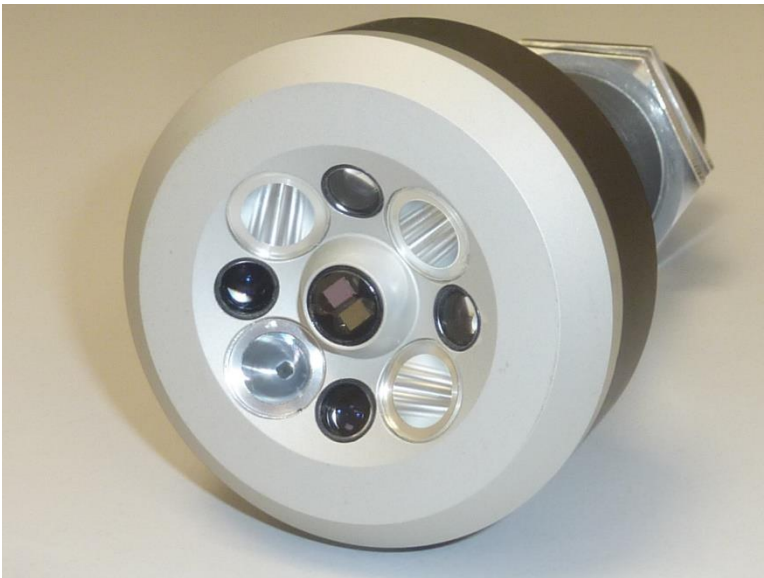
Affinché il valore di tensione superficiale della superficie dello strato di metallo-olio invece del valore standardizzato (MIR) possa essere trasferito all'interfaccia del sensore, occorre prima fare riferimento al metodo dell'inchiostro di prova (calibrazione):



A questo scopo, una delle parti metalliche da testare viene prima sgrassata e poi viene determinato il valore di riferimento normalizzato (MIRref) mediante il sensore MIR e il corrispondente valore di tensione superficiale in mN/m viene determinato con l'aiuto del metodo dell'inchiostro di prova. Di seguito una parte metallica sgrassata viene sottoposta alla stessa procedura, con la differenza che ad ogni procedura (valore misurato con presenza di olio: MIR) viene applicato omogeneamente un film d'olio sempre più pronunciato sul componente sgrassato (l'esperienza dimostra che lo spessore dello strato di olio varia tra 100nm e 5µm). I valori misurati (MIR-MIRref) vengono poi riassunti in una tabella e questa tabella viene poi utilizzata nella memoria non volatile del sensore come tabella di conversione. In forma grafica, la relazione che segue risulta essere la seguente:



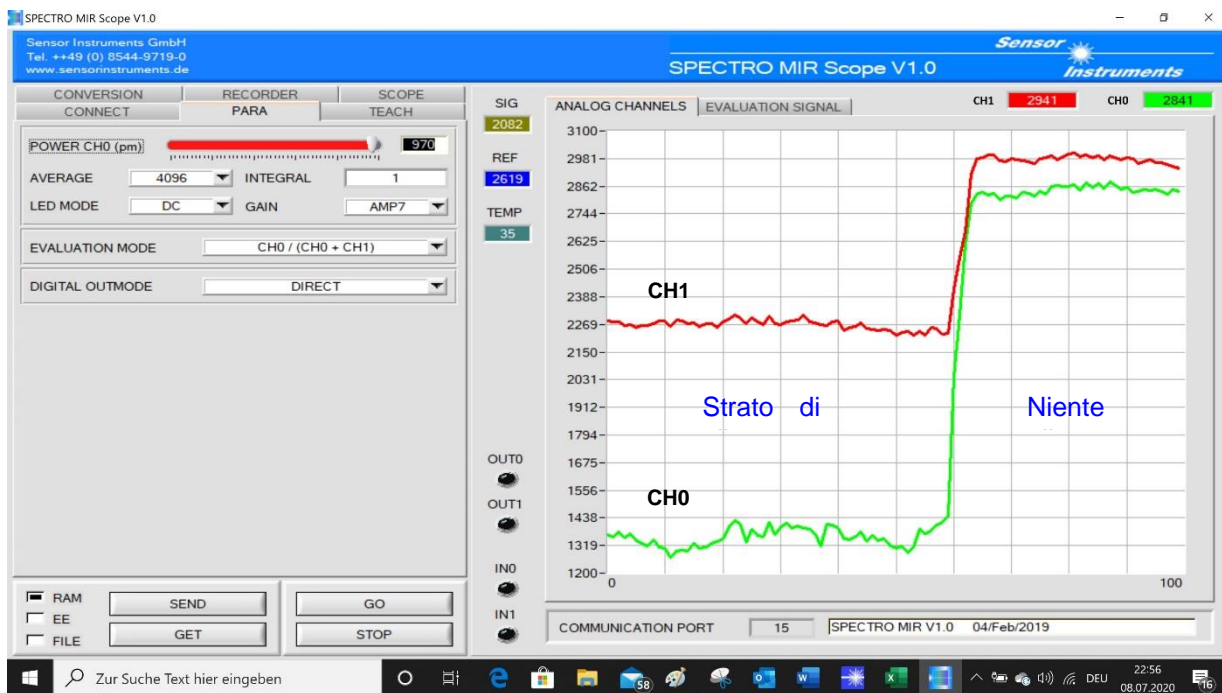
Per la misurazione offline in produzione o in laboratorio è disponibile un distanziatore collegabile. La misurazione è continua. La distanza di lavoro dei sensori dalla superficie da misurare è di 10 mm.



SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) - Testa di rilevamento



Attacco offline per misurazioni di laboratorio



SPECTRO MIR Scope - Software Windows® per la configurazione del sensore, le misurazioni di prova e la calibrazione del sensore secondo un metodo di misura di riferimento.

3 Metodi di riferimento per la determinazione della tensione superficiale

3.1 Tensione superficiale e tensione interfacciale

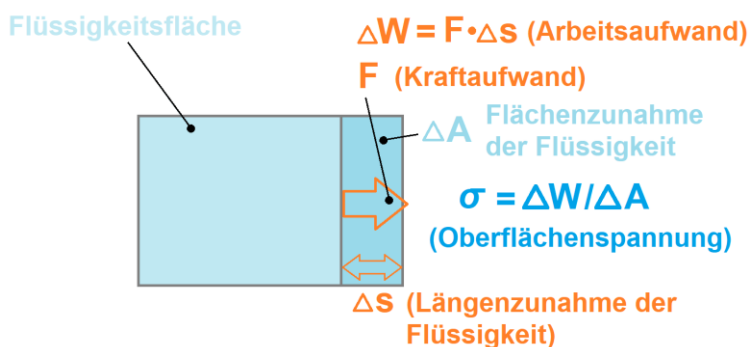
Perché conoscere la tensione superficiale delle superfici metalliche è così in portante a livello pratico? Ecco un esempio: Prima di applicare la vernice su una parte metallica, ad esempio, è necessario controllare il valore della tensione superficiale della stessa. Se questo è al di sotto del valore di tensione superficiale della vernice, questa formerebbe delle perle che si staccano dalla superficie metallica.

Analogamente avviene per l'applicazione di adesivi o di altri tipi di rivestimento. Un'adesione sufficiente si ottiene solo se la tensione superficiale della superficie metallica è superiore a quella del materiale adesivo o di rivestimento.

Come si definisce la tensione superficiale?

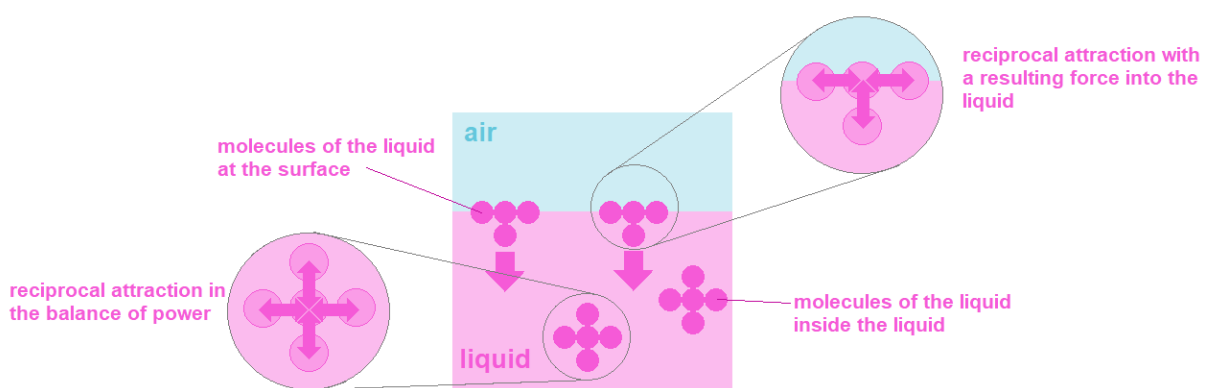
Per aumentare la superficie di un liquido è necessario un dispendio energetico. A tal fine occorre quindi applicare una certo sforzo. La tensione superficiale è definita come il rapporto tra il lavoro da svolgere e il guadagno superficiale (aumento della superficie del liquido) che risulta dal lavoro svolto:

$$\sigma = \Delta W / \Delta A \quad (\text{SI - unità: N/m})$$



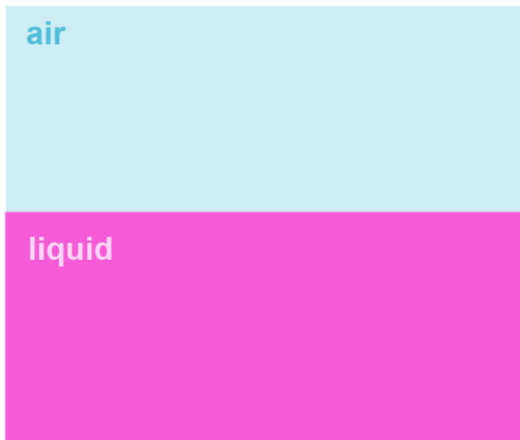
A causa della tensione superficiale, i liquidi si sforzano di ridurre al minimo la loro superficie, il che alla fine si traduce in una superficie sferica del rispettivo liquido (una sfera ha la superficie più piccola di tutte le forme del corpo dello stesso volume).

Cos'è la tensione interfacciale?

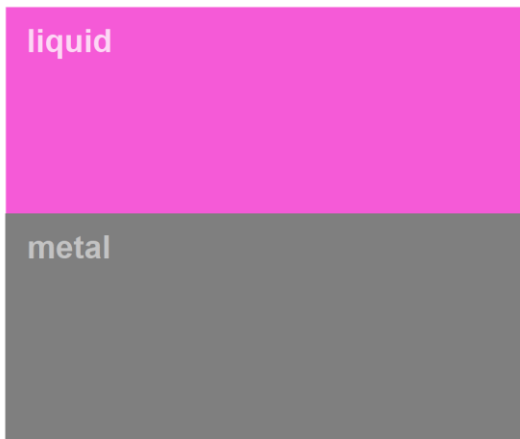


All'interno di un liquido, tutte le molecole sono ugualmente circondate da molecole vicine, per cui le forze di attrazione reciproche si bilanciano. Sul bordo del liquido (interfaccia), invece, si produce una forza risultante, dovuta alla mancanza di divisione simmetrica delle reciproche forze attrattive, che punta verso l'interno del liquido.

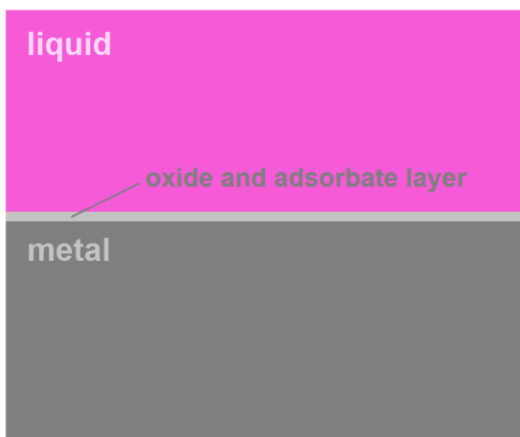
La tensione superficiale è quindi chiamata anche tensione interfacciale. Il termine tensione interfacciale è usato per descrivere la transizione di un liquido ad un substrato, per esempio a una superficie metallica, mentre la transizione dal liquido all'aria è chiamata tensione superficiale.



Transizione aria/liquido: qui si usa il termine tensione superficiale



Transizione liquido/metallo: i processi della transizione sono chiamati tensione interfacciale



Tuttavia, va notato che questa transizione (liquido/metallo) è, in senso stretto, una transizione di uno strato di ossido di metallo o di uno strato di adsorbato (anidride carbonica e idrocarburi sulla superficie metallica) verso il liquido.

Cos'è la bagnatura delle superfici in metallo?

L'unità di misura per la bagnatura di una superficie metallica da parte di un liquido applicato (ad esempio in forma di goccia, ma anche come pennellata) è l'angolo di contatto Θ . La bagnatura della superficie metallica aumenta con la diminuzione dell'angolo di contatto Θ .

Il processo di bagnatura è descritto dall'equazione di Young:

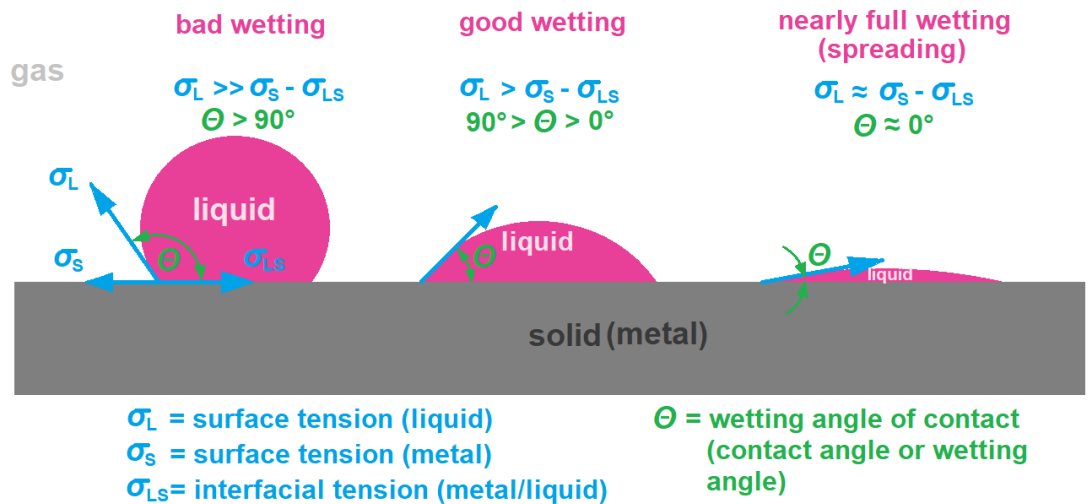
$$\cos \Theta = (\sigma_s - \sigma_{LS})/\sigma_L$$

con

σ_L = Tensione superficiale del liquido

σ_s = Tensione superficiale del metallo

σ_{LS} = Tensione interfacciale tra metallo e liquido



Θ = Angolo di contatto (angolo di contatto o angolo di bagnatura) del liquido sul metallo

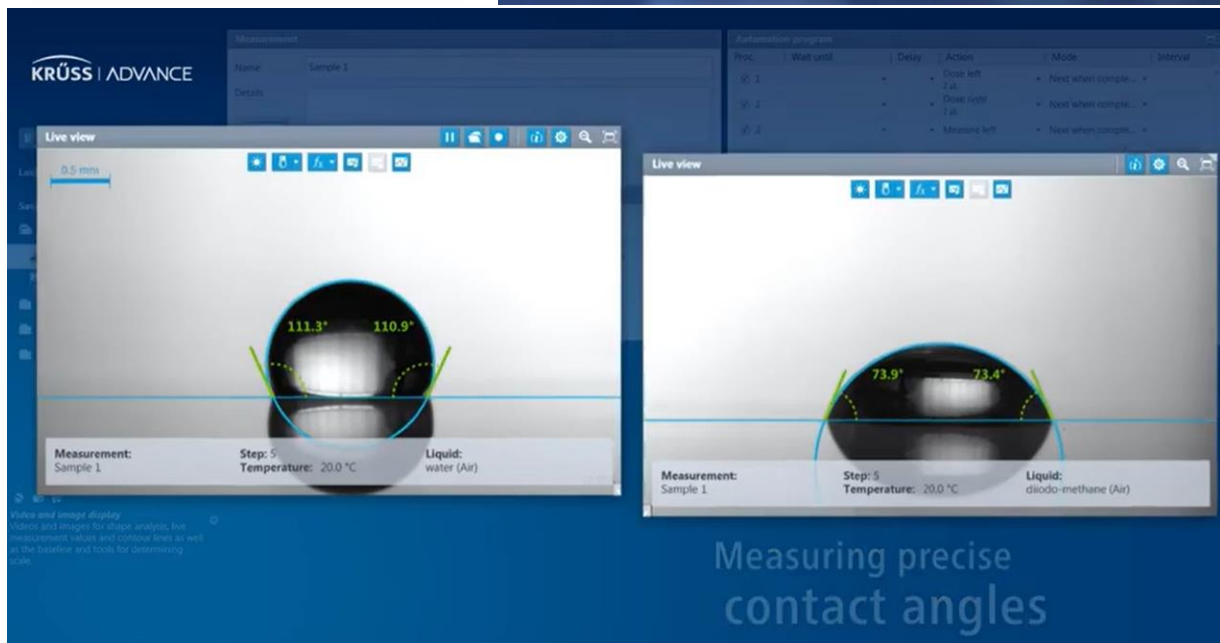
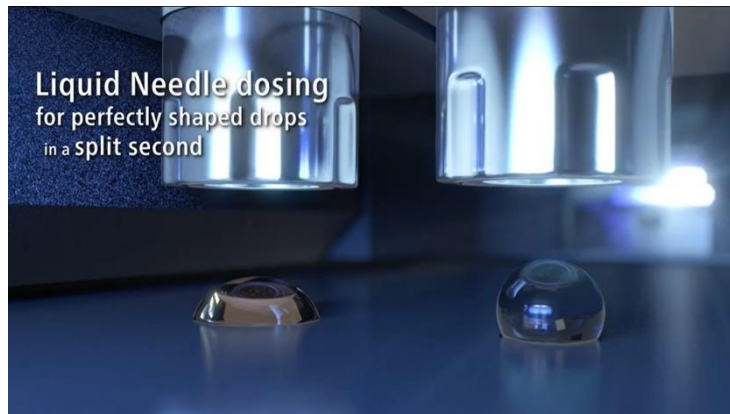
La distribuzione indipendente del liquido sulla superficie metallica (spargimento della pennellata o della goccia, detto anche spargimento) si ottiene con un angolo di contatto di $\Theta = 0^\circ$ (corrisponde al $\cos \Theta = 1$). Per l'equazione di Young risulta in questo caso: $\sigma_L = \sigma_s - \sigma_{LS}$ è anche $\sigma_{LS} \ll \sigma_s$, vale per il liquido che deve bagnare una superficie metallica: $\sigma_L < \sigma_s$. Ciò comporta quanto segue: se la tensione superficiale del liquido è inferiore alla tensione superficiale del metallo, il metallo viene bagnato dal liquido, ma se la tensione superficiale del liquido è superiore alla tensione superficiale del metallo, non si ha alcuna bagnatura.

3.2 Determinazione della tensione superficiale mediante la misurazione dell'angolo di contatto

I valori di tensione superficiale menzionati nella letteratura tecnica si riferiscono principalmente ai metalli allo stato liquido vicino alla rispettiva temperatura di fusione. Per determinare la bagnatura, invece, è importante la tensione superficiale delle superfici metalliche rivestite con strati di ossido e adsorbato a temperatura ambiente.

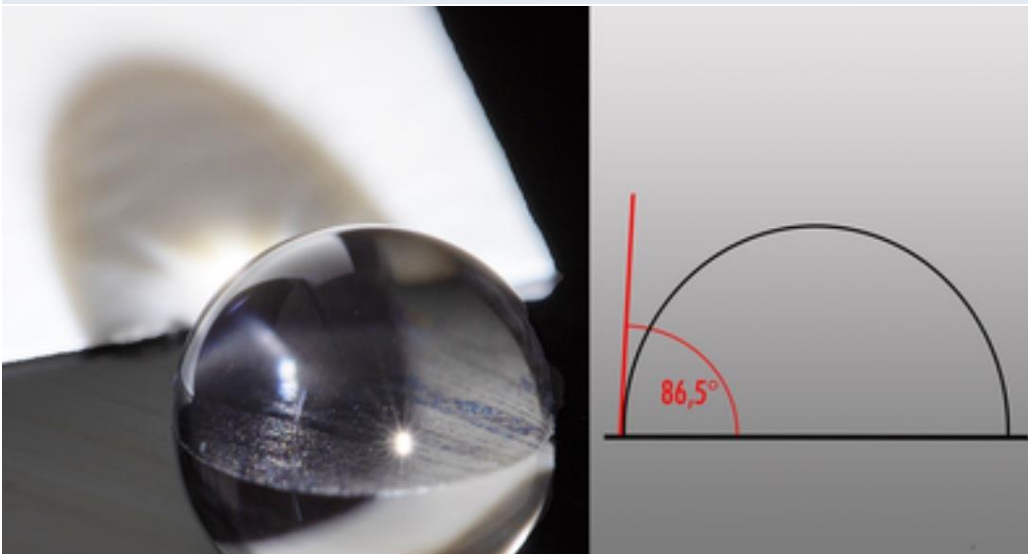
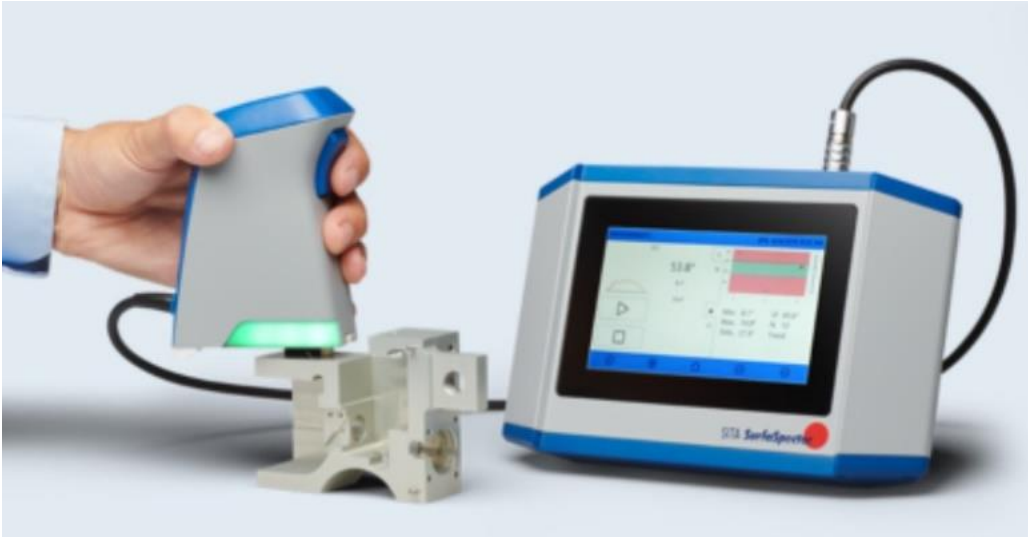
Un metodo di misura per la determinazione locale della tensione superficiale delle superfici metalliche è la misurazione dell'angolo di contatto. Una goccia di un liquido con una tensione superficiale definita viene applicata alla superficie metallica e gli angoli di contatto delle gocce vengono valutati otticamente.

Per questi compiti di misura sono disponibili diversi strumenti di misura. Il valore della tensione superficiale (energia libera superficiale) può essere determinato ad esempio con il Mobile Surface Analyzer - MSA della KRÜSS GmbH www.kruss-scientific.com, dove si applicano due gocce al metallo da testare utilizzando due liquidi di prova (diversa tensione superficiale) e la tensione superficiale del metallo può essere accertata determinando l'angolo di contatto.



Copyright: Krüss GmbH

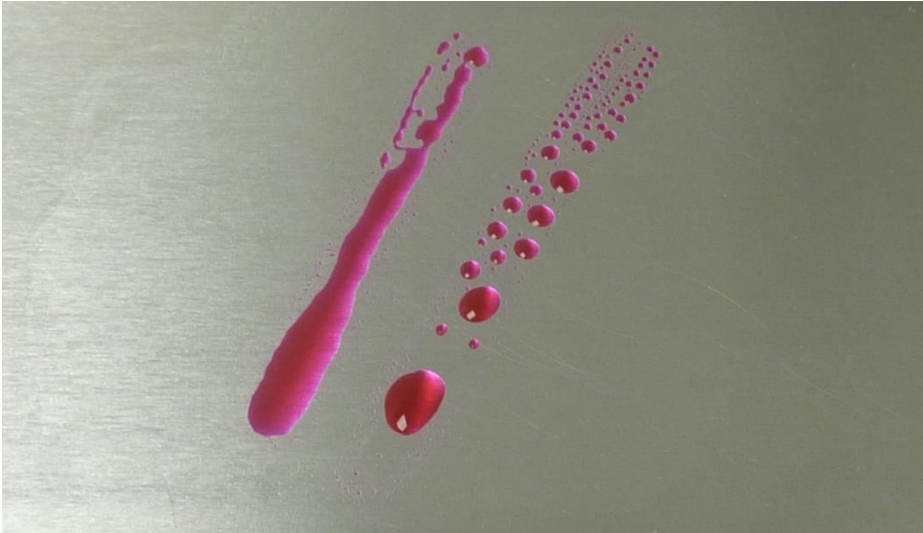
Un altro fornitore da nominare è sarebbe la società SITA Messtechnik GmbH www.sita-process.com. SITA offre un sistema di misura per "una rapida valutazione della bagnabilità delle superfici nel processo di produzione attraverso la misurazione dell'angolo di contatto". Il SITA SurfaSpector è uno strumento di misura portatile per testare la bagnabilità, ad esempio, di superfici metalliche prima e dopo il trattamento o la pulizia della superficie. In questo metodo, una goccia (1µl) di acqua ultrapura viene applicata sulla superficie da misurare per mezzo di un dosatore integrato nella testa del sensore. Utilizzando una telecamera ad alta risoluzione, la forma della goccia viene registrata nella parte anteriore del sensore, da cui è possibile determinare l'angolo di contatto.



Fonte: SITA Messtechnik GmbH

3.3 Determinazione della tensione superficiale con il metodo dell'inchiostro di prova

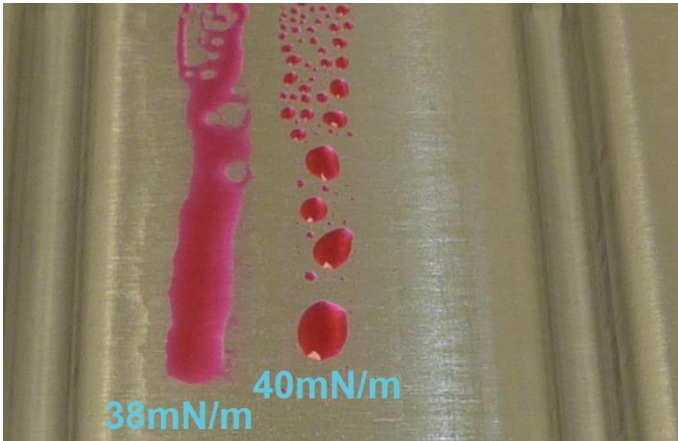
Un altro metodo molto diffuso per determinare la tensione superficiale dei metalli a temperatura ambiente è il metodo dell'inchiostro di prova. In questo processo, l'inchiostro di prova con una tensione superficiale definita viene applicato sulla superficie metallica da testare, ad esempio con un pennello. Se l'inchiostro di prova bagna la superficie metallica, la tensione superficiale (tensione interfacciale) della superficie metallica corrisponde al valore dell'inchiostro di prova o è addirittura superiore a questo valore. Se l'inchiostro di prova forma perle che si staccano dalla superficie metallica, significa che la tensione superficiale (tensione interfacciale) della superficie metallica è inferiore alla tensione superficiale dell'inchiostro di prova.



Gli inchiostri di prova sono reperibili ad esempio presso la Società arcotest GmbH www.arcotest.info . Gli inchiostri di prova PINK coprono un range di tensione superficiale da 22mN/m a 60mN/m a intervalli di 2mN/m.



Come già detto, una tensione superficiale definita del substrato è un fattore molto importante nei processi di rivestimento. Qual è, però, la causa di un valore di tensione superficiale troppo basso di una superficie metallica?



Come già detto, in pratica una superficie metallica è in realtà uno strato di ossido di metallo e adsorbito. Gli atomi di ossigeno così come gli atomi di carbonio sono integrati nella superficie metallica. Le misurazioni hanno dimostrato che una superficie metallica sgrassata chimicamente (più precisamente la superficie dell'ossido di metallo e dell'adsorbito) ha un valore di tensione superficiale di > 60mN/m. Se si considerano, tuttavia, ad esempio, i pezzi tranciati che vengono prima bagnati con olio a causa del processo di tranciatura-piegatura e poi puliti in un sistema di pulizia standard, il valore della tensione superficiale dei pezzi tranciati è di circa 38mN/m, in singoli casi di

circa 44mN/m. - Prima del processo di pulizia, il valore della tensione superficiale sulla superficie metallica delle parti tranciate è solitamente inferiore a 30mN/m, a seconda dell'olio per tranciatura e imbutitura. –

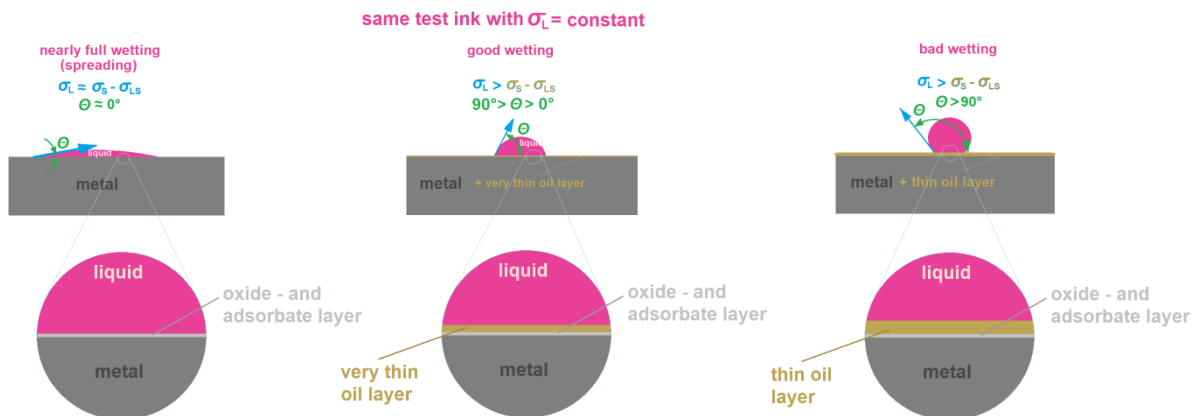
Tuttavia, soprattutto per le parti tranciate e principalmente per i contatti a innesto, è importante un elevato valore di tensione superficiale (> 38mN/m), poiché questo valore indica il contenuto di olio residuo sulla superficie metallica. Il contenuto di olio residuo aumenta la resistenza di contatto, il che può portare ad una riduzione delle prestazioni durante il processo di connessione.

Utilizzando due inchiostri di prova (38mN/m e 40mN/m), si è potuto dimostrare che il valore della tensione superficiale per questa superficie di contatto è compreso tra 38mN/m e 40mN/m.

Con l'inchiostro di prova 40mN/m utilizzato, non si ha più una bagnatura netta (l'angolo di contatto Θ devia quindi molto da 0°), mentre con 38mN/m si ottiene quasi uno spargimento.

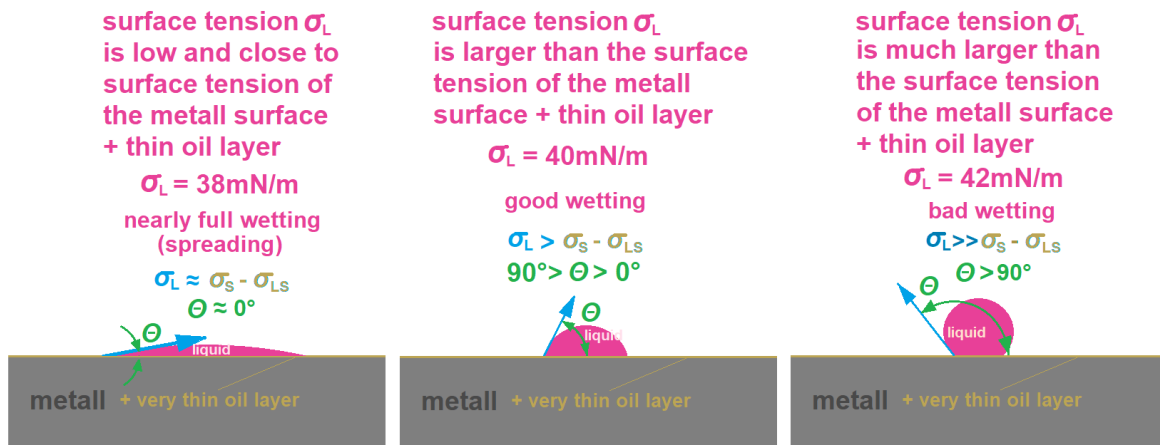
Il seguente diagramma mostra schematicamente come la tensione superficiale della superficie di contatto diminuisce con l'aumentare dello spessore dello strato d'olio (per ogni prova viene utilizzato lo stesso inchiostro di prova):

La bagnatura della superficie di contatto diminuisce con l'aumentare dello spessore del film di olio.



Per determinare la tensione superficiale di una superficie di contatto, si usano in sequenza inchiostri di prova con diverse tensioni superficiali. Se la tensione superficiale della parte a contatto è di almeno 38mN/m, si può iniziare con un inchiostro di prova con lo stesso valore di tensione superficiale: 38mN/m inchiostro di prova bagnato, 40mN/m inchiostro di prova non più completamente bagnato, 42mN/m perle di inchiostro di prova che si staccano dalla superficie di contatto.

same metall surface with same thin oil layer
 (constant surface tension of the metal surface and the thin oil layer)



Il metodo dell'inchiostro di prova è una semplice procedura di controllo che può essere implementata rapidamente nella pratica e può essere utilizzata per l'ispezione casuale dei componenti. Anche se acquisire informazioni sullo spessore del film di olio residuo in modo diretto sarebbe augurabile, in pratica quest'operazione in passato si è rivelata difficoltosa.

Nel frattempo, per verificare la presenza di eventuali strati sottili di olio, a livello industriale ha preso piede il metodo dell'inchiostro di prova.

Questo è anche il motivo per cui abbiamo utilizzato il metodo dell'inchiostro di prova come metodo di riferimento anche nelle seguenti misurazioni di prova.

3.4 Metodo di riferimento e misurazione in linea

I metodi di riferimento per la determinazione della tensione superficiale qui presentati sono metodi di prova in cui i singoli campioni vengono prelevati dal processo di produzione e forniscono informazioni sulla qualità superficiale dell'intero lotto. Questi metodi di prova sono spesso utilizzati per il controllo di qualità in laboratorio o in linea.

Sempre più spesso, tuttavia, l'obiettivo è quello di eseguire un controllo al 100% dei componenti prodotti, che rende necessario un metodo di misura in linea.

Idealmente, un processo in linea produrrebbe valori di misura paragonabili a quelli di un processo di riferimento già stabilito, ad esempio il metodo dell'inchiostro di prova. Ad esempio, il sistema di misura in linea dovrebbe visualizzare i valori della tensione superficiale del componente in mN/m.

I sensori in linea SPECTRO-M offrono una funzione di calibrazione (CONVERSIONE) con la quale i valori MIR interni possono essere facilmente convertiti nei valori del sistema offline (metodo dell'inchiostro di prova).

4 Applicazioni per i sensori SPECTRO-M

In linea di principio, tutti i composti organici, ad es. polimeri, oli, ..., mostrano un assorbimento delle vibrazioni nella gamma MIR. Tuttavia, qualsiasi metodo MIR raggiunge i suoi limiti quando lo strato organico è così spesso che tutta l'energia di eccitazione viene assorbita e non viene riflesso quasi nessun segnale utile.

Tuttavia, il sistema funziona molto bene quando i film organici sottili si depositano su substrati non organici, cioè substrati che non mostrano assorbimento MIR. Il rilevamento di sottili strati di olio sui metalli (nella lavorazione dei metalli, specialmente nel settore della trancitura) è quindi predestinato all'uso del metodo di misurazione MIR.

I sensori della famiglia SPECTRO-M sono particolarmente adatti alle seguenti applicazioni:

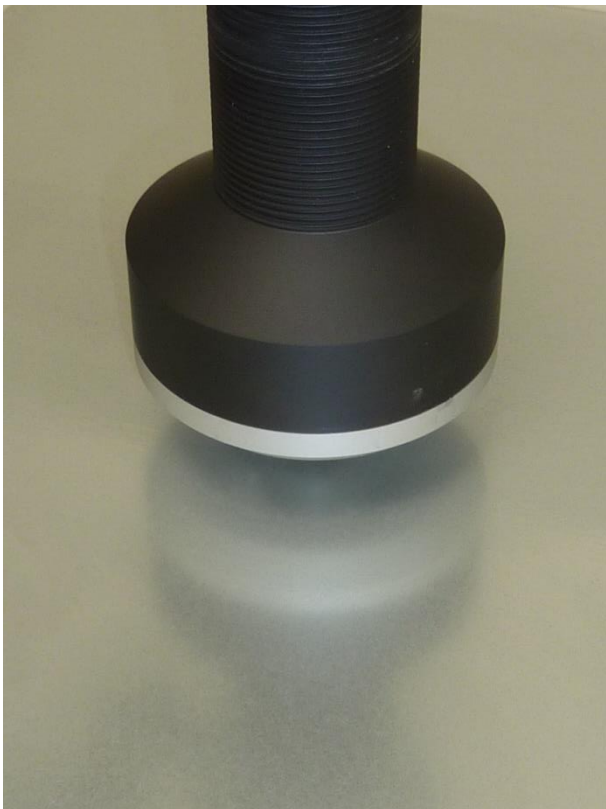
- Controllo in linea della tensione superficiale delle superfici metalliche dopo la pulizia
- Controllo in linea dello spessore dello strato di applicazioni di olio sottile su superfici metalliche
- Analisi di laboratorio per l'evaporazione di oli su metalli e determinazione del rivestimento residuo

Le seguenti sezioni descrivono le nostre misurazioni di prova su vari prodotti a base di olio e la metodologia utilizzata.

5 Misure di prova su diversi oli

5.1 Motivi per la misurazione di strati di olio su superfici metalliche

Nella lavorazione dei metalli durante il processo di formatura, l'uso di oli è essenziale. Ad esempio, gli oli da taglio applicati sui nastri metallici garantiscono una bassa usura degli utensili di tranciatura. Ma nei processi di lavorazione, gli oli per foratura danno un contributo indispensabile alla protezione degli utensili di perforazione e fresatura. Inoltre, gli oli servono come protezione anticorrosione di prodotti semilavorati come le lamiere ma anche i fogli di metallo. Dopo un'ulteriore lavorazione, invece, è necessario rimuovere i residui di olio dai prodotti finiti il più possibile senza lasciare di residui. A tale scopo vengono utilizzati speciali sistemi di pulizia in cui le parti metalliche vengono lavate e soffiate.



Per rispettare le direttive di protezione ambientale durante l'applicazione dell'olio e per tener conto anche degli aspetti economici, è consigliabile determinare la quantità di olio applicata. Nel frattempo, la determinazione della rispettiva quantità di olio può essere effettuata anche in linea, durante il processo di funzionamento. A questo scopo vengono spesso utilizzati metodi di misura della fluorescenza UVA. Tuttavia, non tutti gli oli hanno le proprietà fluorescenti necessarie a questo scopo e gli additivi UV aggiuntivi comportano costi più elevati.

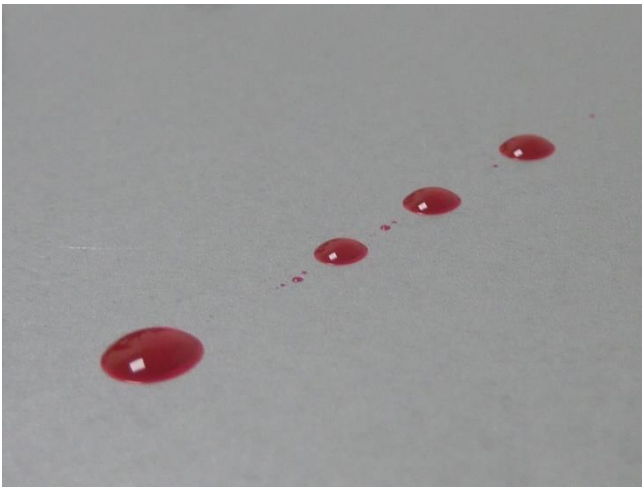
Il controllo di qualità del processo di pulizia può essere effettuato anche attraverso la tecnologia dei sensori. La sfida in questo caso, tuttavia, è quella di rilevare in modo affidabile la quantità più bassa possibile di residui di olio in linea. I residui di olio abbassano la tensione superficiale e interferiscono con il processo di rivestimento a valle.

Nel caso di componenti elettricamente conduttivi, come le guide in rame o le linee elettriche, è richiesta la più bassa resistenza di contatto possibile. Tuttavia, uno strato di olio residuo costituirebbe un problema qui, in quanto ridurrebbe in modo non trascurabile l'efficienza energetica.

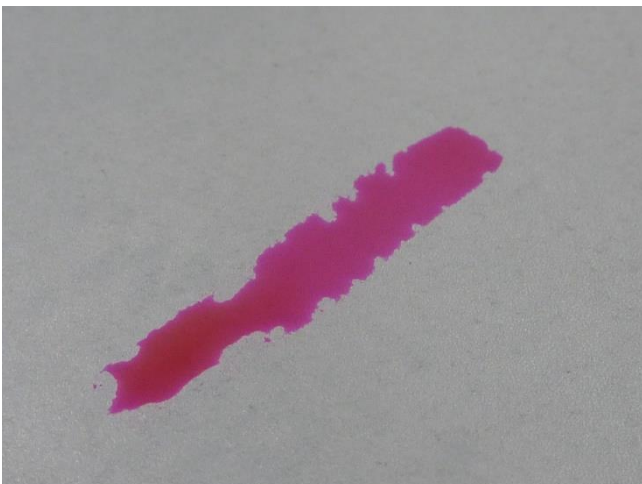
5.2 Metodo dell'inchiostro di prova - un metodo di misura di riferimento ampiamente utilizzato per il controllo dell'olio residuo

Quando si misurano gli strati di olio, si pensa innanzitutto ad un determinato spessore dello strato, misurato ad esempio in μm . Una possibilità per misurarlo sarebbe quella di determinare la grammatura del film di olio. Tuttavia, per fare questo, occorre stabilire il peso dell'intero componente. Una bilancia di precisione come condizione necessaria, nonché un componente esattamente identico, non oliato, per stabilire la differenza di peso fanno un buon servizio. Per poter dedurre lo spessore del rivestimento dalla grammatura, sono necessarie anche informazioni sulla densità del rispettivo olio e sull'area del rispettivo componente. La differenza di peso relativamente grande tra lo strato di olio effettivo e il peso del componente non gioca certamente a favore per determinare in modo esatto lo spessore dello strato di olio. Un'altra fonte di errore è la differenza di peso dei due componenti quando non sono lubrificati.

La mancanza di modi efficaci ed economici per misurare lo spessore del film di olio residuo è probabilmente la ragione per cui in pratica sta diventando sempre più popolare un metodo semplice di prova per determinare la tensione superficiale delle parti metalliche. La presenza di un sottile strato di olio su una superficie metallica provoca una riduzione della tensione superficiale da $> 50\text{mN/m}$, allo stato non bagnato, a meno di 40mN/m con uno strato di olio (a seconda dello spessore dello strato e del tipo di olio). I cosiddetti inchiostri di prova, che coprono una gamma da 30mN/m a 50mN/m a intervalli di due (30mN/m , 32mN/m , 34mN/m , ...), vengono utilizzati per rilevare la rispettiva tensione superficiale. L'inchiostro di prova viene applicato sull'area da testare utilizzando il pennello fornito nel flaconcino. Se l'inchiostro di prova si stacca dalla superficie, si utilizza analogamente l'inchiostro di prova immediatamente superiore, fino a quando l'inchiostro non aderisce alla superficie per un periodo di tempo più lungo e non si stacca formando delle perle. La tensione superficiale si trova quindi tra gli ultimi due inchiostri di prova utilizzati. Il principio sta nel fatto che una diminuzione della tensione superficiale è accompagnata da un aumento dello spessore del film di olio.



Le perline dell'inchiostro di prova staccate dalla superficie metallica bagnata d'olio indicano una tensione superficiale inferiore al valore indicato sull'inchiostro di prova.



In questa illustrazione, l'inchiostro di prova resta aderente alla superficie metallica bagnata con olio o sgrassata. La tensione superficiale della superficie metallica è quindi superiore al valore specificato dell'inchiostro di prova.

5.3 Impostazione e metodologia di misura

Per le misure di laboratorio, lo SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) è stato dotato di un distanziale o di un attacco offline. (vedi a destra)

Il software per PC SPECTRO MIR Scope v1.0 è stato utilizzato per configurare il sensore per i test, e la funzione RECORDER ha permesso la registrazione e l'esportazione dei valori misurati in Excel®, programma utilizzato per preparare i dati.

Come oggetto di misura è stata utilizzata una piastra di acciaio inossidabile sgrassata, sulla cui superficie erano stati applicati strati di olio di diverso spessore (gli strati di olio dovrebbero spaziare nell'intervallo tra $<1\mu\text{m}$ e ca. $20\mu\text{m}$) del medesimo olio. Il test è stato effettuato utilizzando diverse quantità di olio (nei settori 1,2,3: quantità media di olio, nei settori 4,5,6: quantità bassa di olio e nei settori 7,8,9: quantità abbondante di olio). Successivamente, la macchia d'olio è stata distribuita in modo omogeneo su un diametro di circa 60 mm con un panno monouso. Questo processo si è svolto in tutti i settori citati. Inoltre, la quantità di olio già sparsa è stata utilizzata per spargere i settori 2,3,5,6,8 e 9 una seconda volta utilizzando un panno monouso, senza modificare il diametro del rispettivo settore. Questo processo è stato ripetuto una seconda volta nei settori 3,6 e 9.



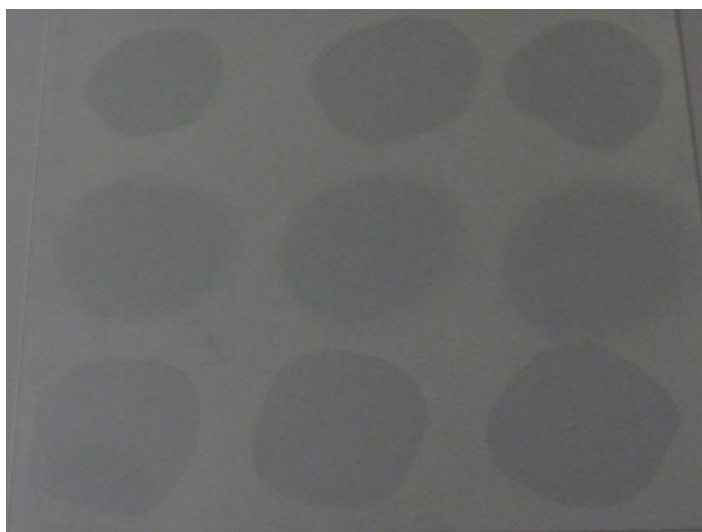
Note sulle lamiere di prova:

1,2 e 3: spessore medio dello strato (decrescente da 1 a 3)

4,5 e 6: spessore basso dello strato (decrescente da 4 a 6)

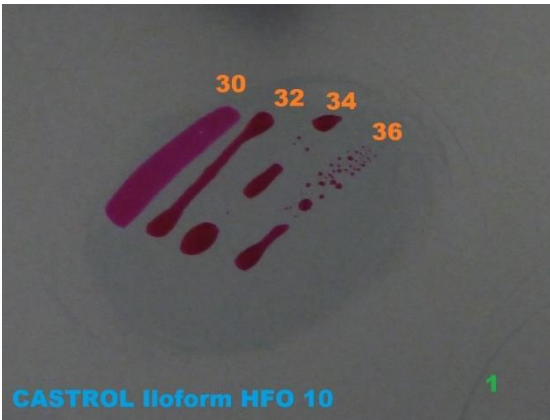
7,8 e 9: spessore grande dello strato (decrescente da 7 a 9)

10,11,12 e 13: Settori utilizzati per la misura di riferimento (settori senza applicazione di olio).



Piastra in acciaio inossidabile con i 9 diversi settori. Dopo le rispettive prove con un certo tipo di olio, la piastra metallica è stata pulita dall'olio (sgrassata) quasi senza lasciare residui. Per verificare se l'olio dei test precedenti era stato rimosso dalla superficie metallica, sono state effettuate misurazioni anche tra le singole applicazioni di olio (settori 1-9). Queste aree sono state designate come settori 10-13.

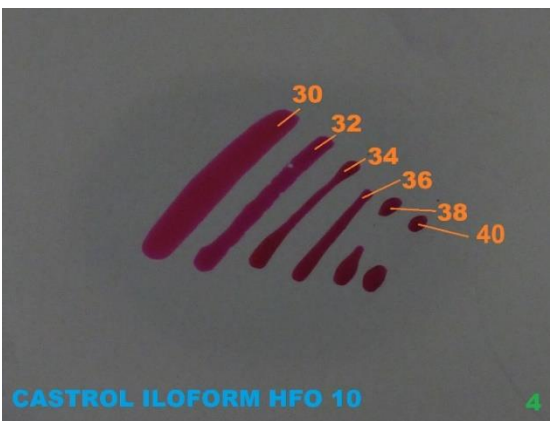
Come già accennato all'inizio, la prova della tensione superficiale con il metodo dell'inchiostro di prova nei rispettivi settori serve come riferimento per le rispettive misurazioni. Questa tensione superficiale è stata determinata utilizzando gli inchiostri di prova disponibili (da 30mN/m a 50mN/m) per ogni tipo di olio. Ciò è stato fatto dopo aver misurato con tre diversi sistemi di sensori SI, poiché l'inchiostro di prova applicato avrebbe influenzato i risultati della misurazione ottica.



Campione di olio: CASTROL Iloform HFO 10

Inchiostri di prova: 30mN/m, 32mN/m, 34mN/m e 36mN/m

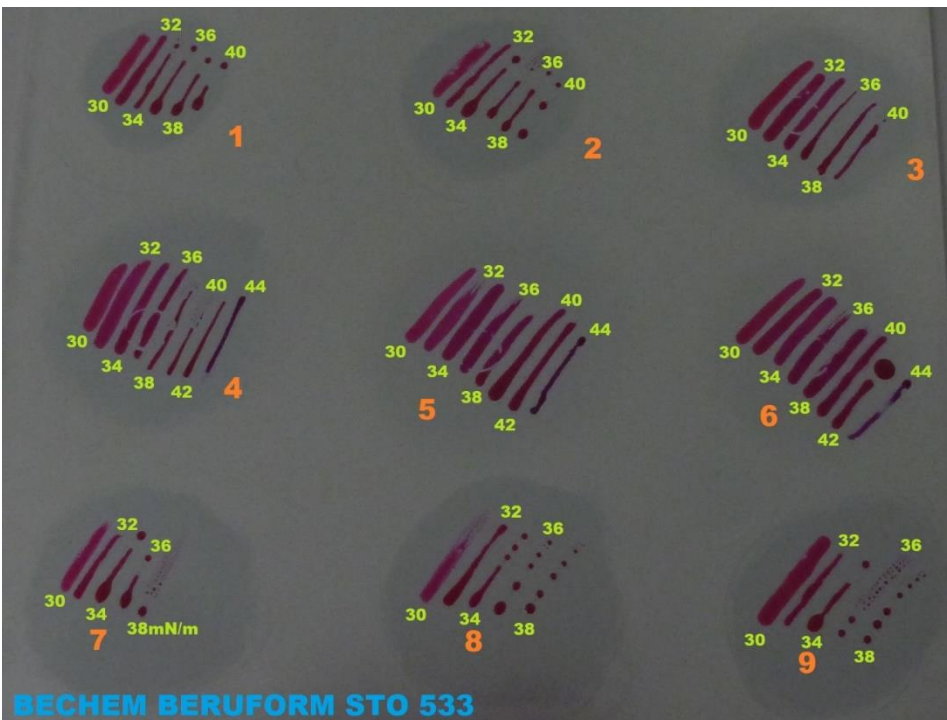
Settore: 1



Campione di olio: CASTROL Iloform HFO 10

Inchiostri di prova: 30mN/m, 32mN/m, 34mN/m, 36mN/m, 38mN/m e 40mN/m

Settore: 4



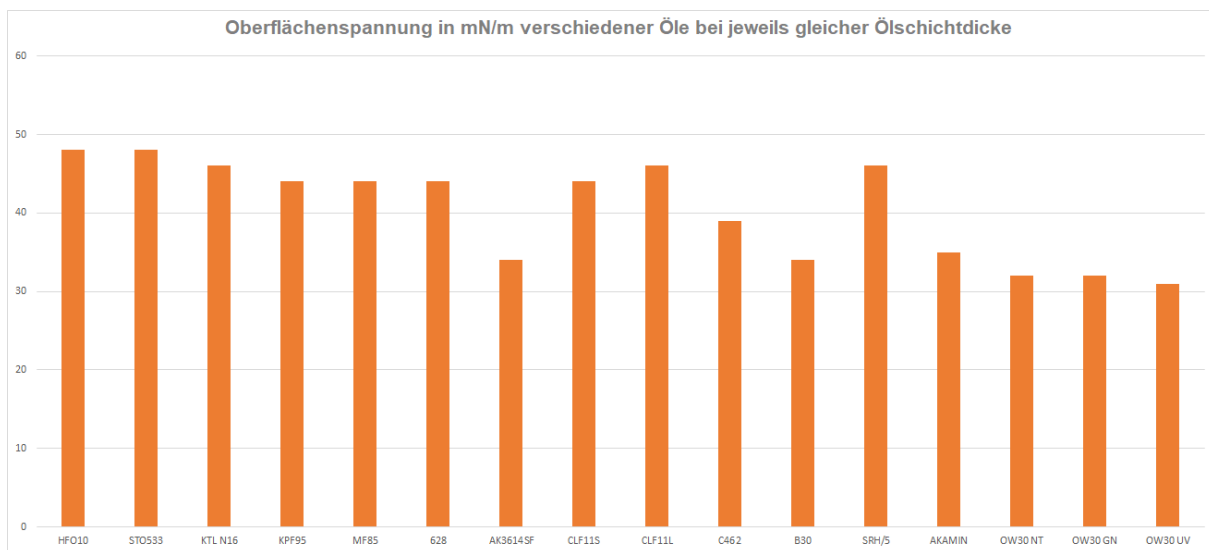
Campione di olio: BECHEM BERUFORM STO 533, inchiostri di prova utilizzati: da 30mN/m a 44mN/m in 9 diversi settori

5.4 Elenco dei tipi di olio testati

Per i test erano disponibili i seguenti oli:

- CASTROL HFO10
- BECHEM STO533
- Z+G KTL N16
- BECHEM KFP95
- BECHEM MF85
- WILKE 628
- WISURA AK3614SF
- RAZIOL CLF11S
- RAZIOL CLF11L
- TRUMPF C462
- TRUMPF B30
- TRUMPF SRH/5
- TRUMPF AKAMIN
- OW 30 NEUTRAL
- OW 30 0.01% GRÜN
- OW 30 0.01% UV-FARBE

Confronto della tensione superficiale dei diversi oli con circa lo stesso spessore dello strato d'olio



Dall'analisi dei diversi oli è emerso che la tensione superficiale assume valori diversi per circa lo stesso spessore dello strato d'olio a seconda dell'olio in questione:

I valori di tensione superficiale sono stati confrontati nel settore 6, cioè la più piccola quantità di olio applicata (spessore dello strato ca. $<1\mu\text{m}$). Non è possibile trarre conclusioni della tensione superficiale sullo spessore dello strato d'olio senza conoscere l'olio.

5.5 Controllo dei residui di olio con SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2)

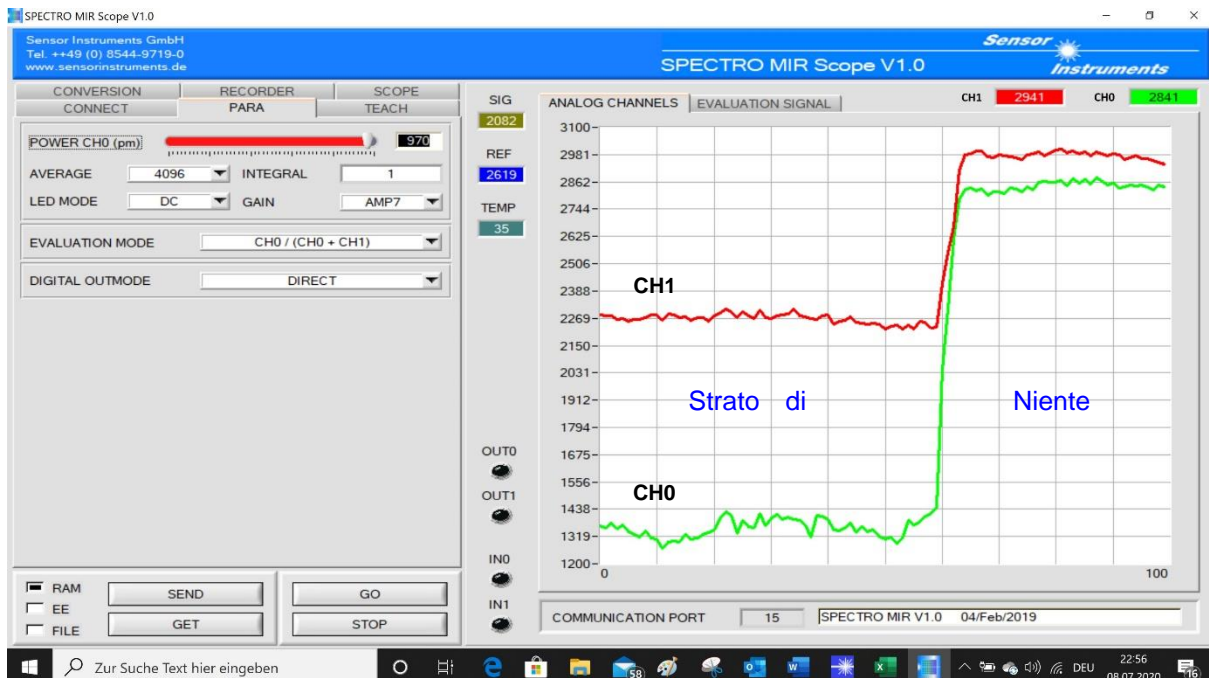
5.5.1 Sensore MIR e applicazione

Utilizzando lo **SPECTRO-M-10-MIR/(MIR/MIR1)**, le posizioni di misurazione 1-9 sono state misurate in successione ad una distanza di lavoro di 10 mm, mentre le posizioni 10-13 sono servite come posizioni di riferimento. Il valore di misura normalizzato risulta dai due valori di misura determinati delle due finestre di misura nel MIR –



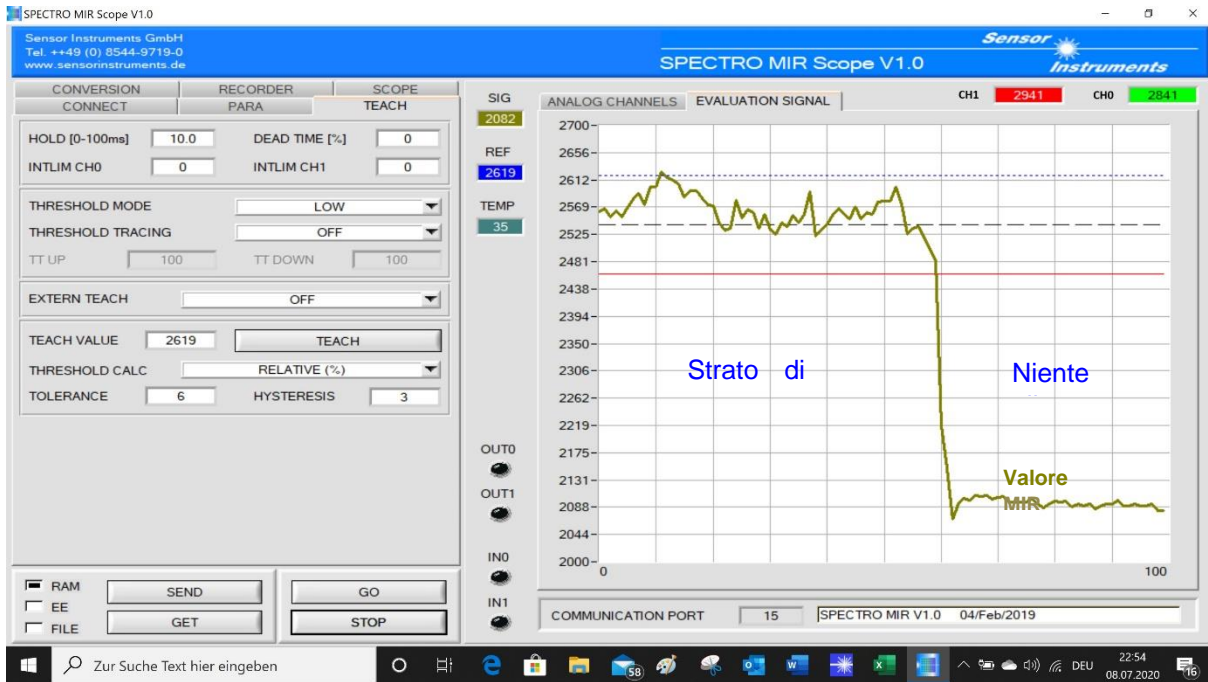
Durante le misurazioni è stata realizzata una connessione al PC mediante interfaccia seriale. La parametrizzazione dei sensori e la visualizzazione numerica e grafica dei dati di misura sono state effettuate con il software Windows® **SPECTRO MIR Scope V1.0**.

Tramite il software è possibile selezionare mediante la MODALITÀ DI VALUTAZIONE come si forma il segnale standard: $MIR = CH0/(CH0+CH1)$ oppure $MIR = CH1/(CH0+CH1)$



Lo strato di olio modifica anche le proprietà ottiche della superficie metallica, la superficie diventa più scura e quindi anche la riflessione ottica su entrambi i canali è ridotta.

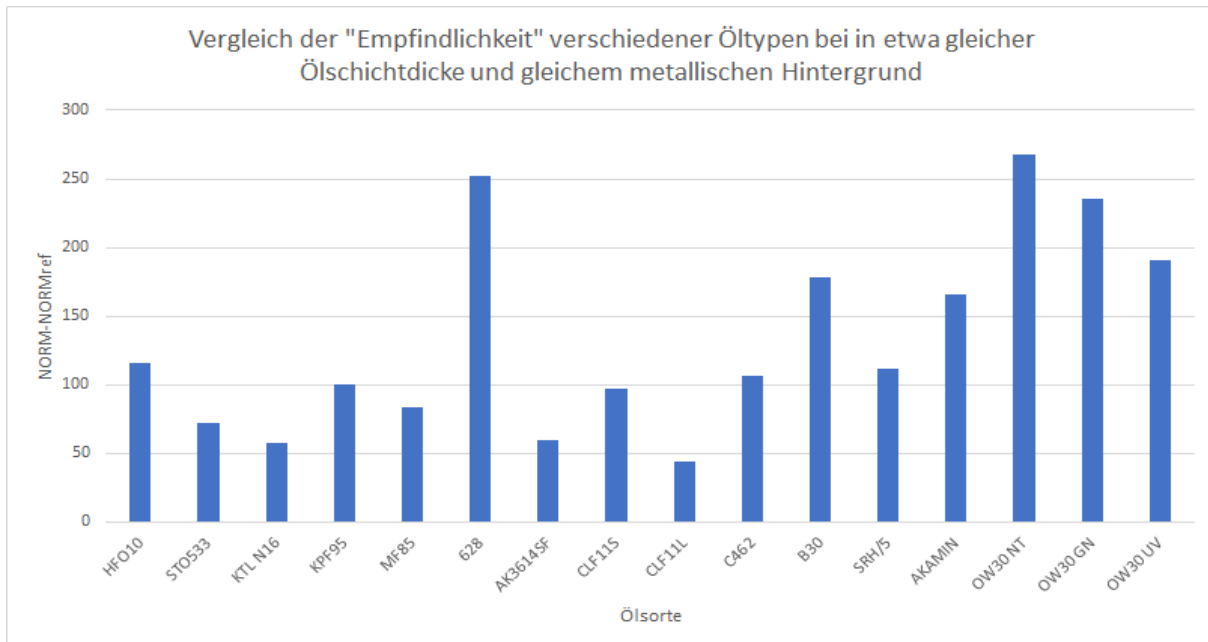
Oltre alla visualizzazione dei due valori di misura CH1 (valore di riferimento a 4µm) e CH0 (valore di misura a 3µm), viene visualizzato anche il SIG normalizzato = valore MIR = $CH1/(CH0+CH1) \times 4095$.



Visualizzazione del valore MIR normalizzato = $SIG = CH1 / (CH0 + CH1)$

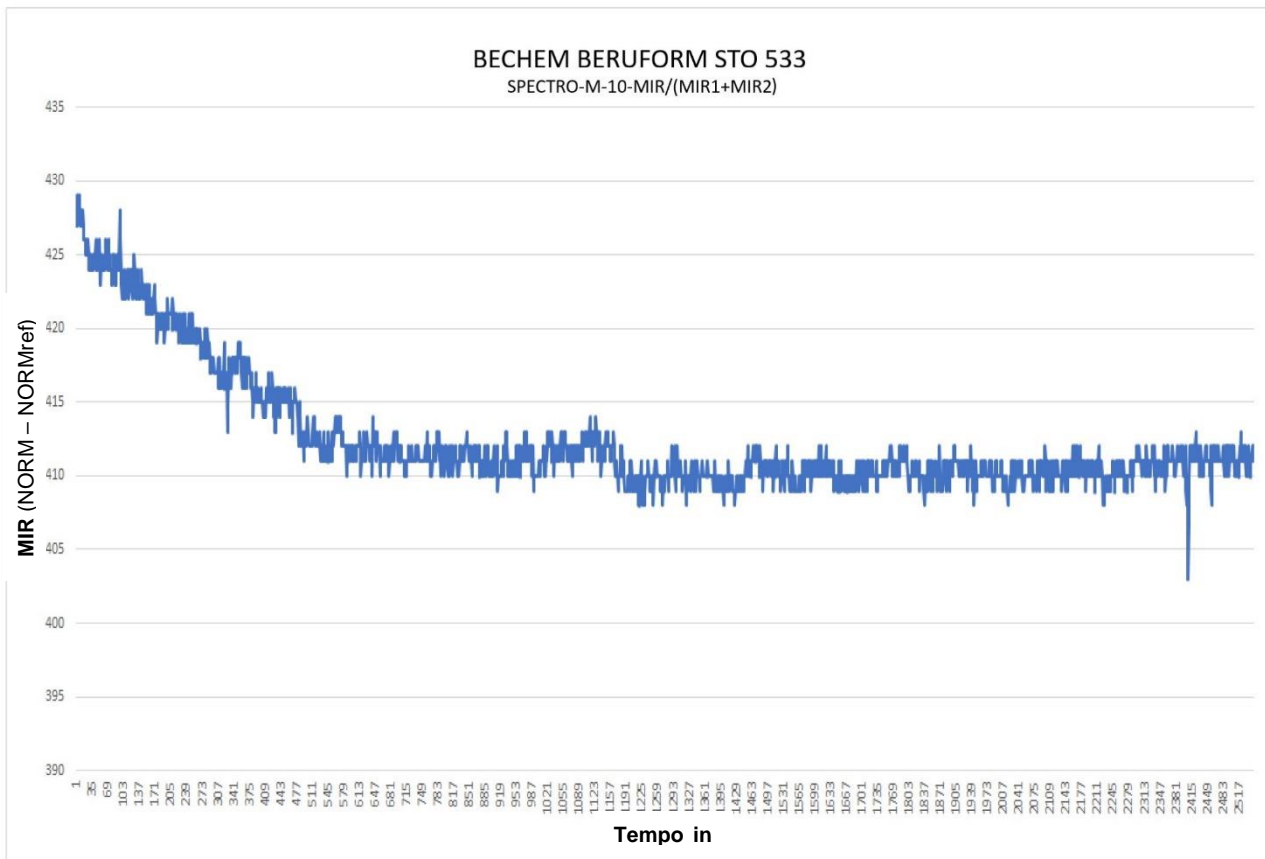
Per una misurazione in linea si può usare anche il software per PC "MIR Monitoring". La situazione attuale della qualità e il trend possono essere visualizzati dall'operatore dell'impianto su un monitor del PC durante la produzione sotto forma di un diagramma a barre. Inoltre, c'è la possibilità di registrare e salvare i dati di misura in formato ASCII in modo che possano essere valutati successivamente con un programma di foglio di calcolo, ad esempio Excel®.

5.5.2 Confronto della tensione superficiale dei diversi oli con circa lo stesso spessore dello strato d'olio



Sono state rilevate differenze di sensibilità tra i diversi tipi di olio (con spessore dello strato comparabile) anche utilizzando il metodo di misurazione MIR. Rispetto ai due metodi di misurazione UV, tuttavia, è stato possibile rilevare tutti i tipi di olio e la differenza tra il campione più sensibile e quello meno sensibile consigliava solo un fattore 7.

5.5.3 Dipendenza del segnale di misura MIR dal tempo



Alcuni degli oli studiati hanno mostrato proprietà evaporative. Cioè, se osservato per un lungo periodo di tempo, il segnale misurato si è indebolito fino a stabilizzarsi ad un certo valore. Per questi oli abbiamo effettuato misurazioni di prova su un periodo di tempo più lungo per sondare questo comportamento. Il sistema di sensori è stato posizionato su un punto di misura, che è stato dotato di un film di un certo tipo di olio, e successivamente è stata effettuata una registrazione dei dati di misura per un periodo di tempo più lungo (ca. 43 min.).

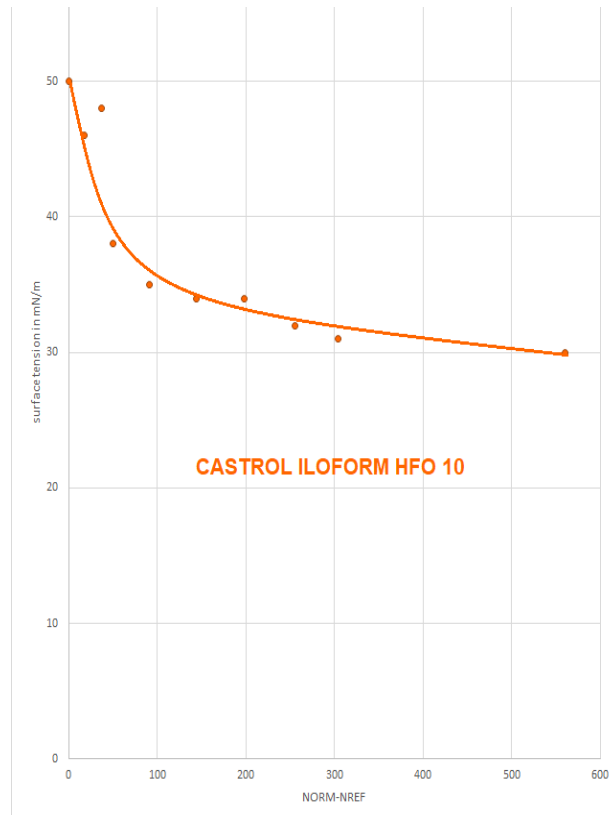
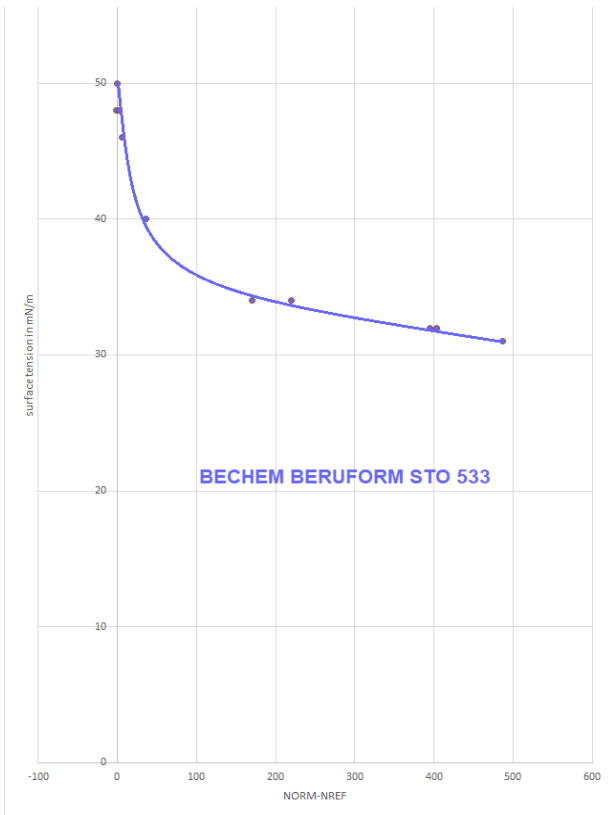
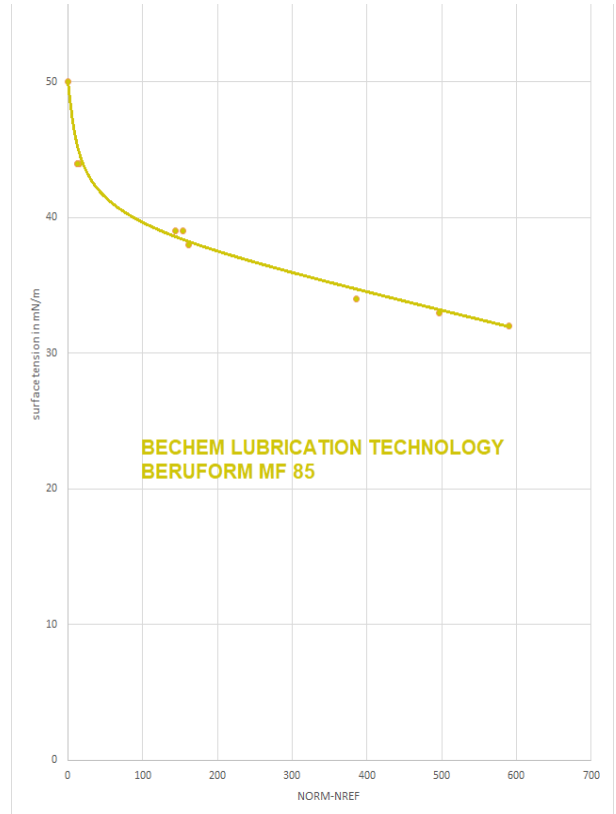
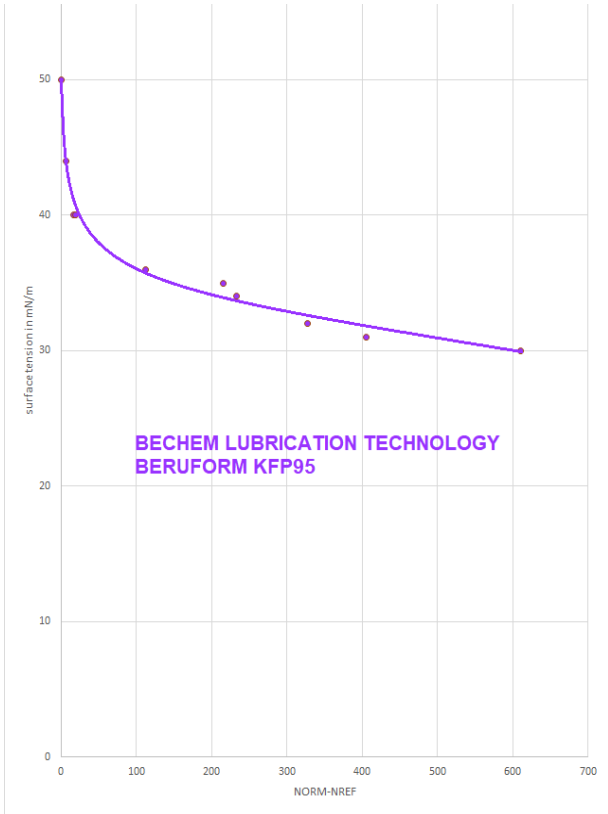
Con l'olio BECHEM BERUFORM STO 533 è stato possibile determinare una diminuzione del campo normalizzato di ca. 5% rispetto al segnale iniziale (che corrisponde ad un fattore di ca. 1,05). L'effetto osservato può essere probabilmente attribuito al fatto che una parte dell'olio evapora e quindi si raggiunge un equilibrio.

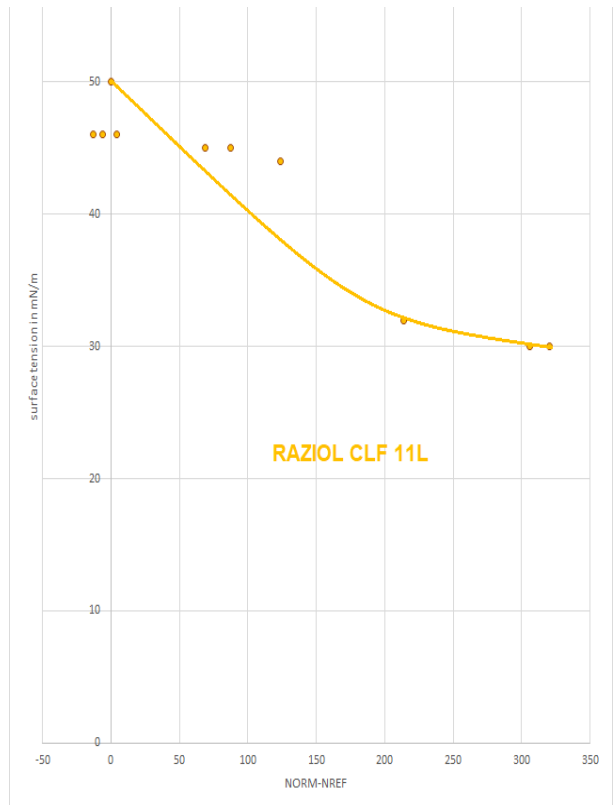
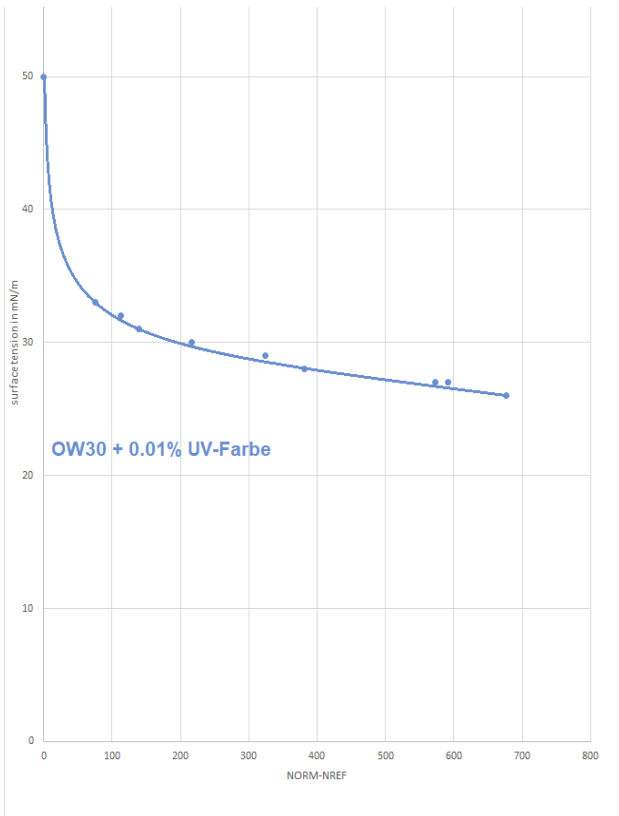
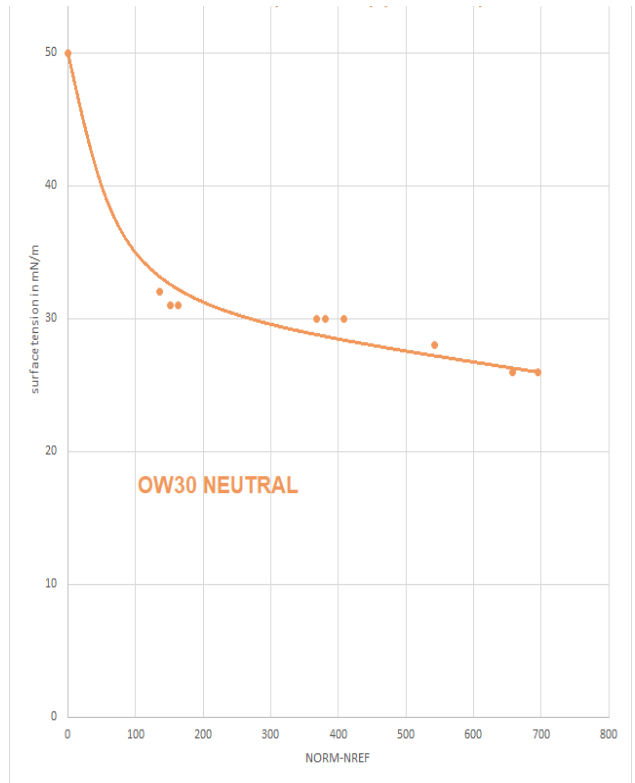
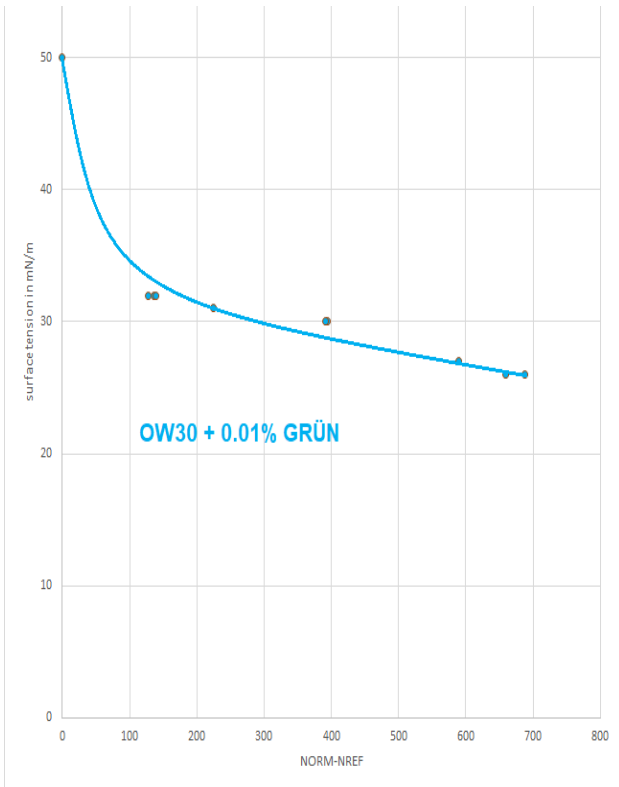
Poiché l'energia dell'eccitazione nell'intervallo MIR è inferiore di un fattore 10 rispetto ai metodi che utilizzano UVA e UVC, l'influenza dell'eccitazione MIR sui composti polimerici e quindi sulla misura dovrebbe essere notevolmente inferiore rispetto al caso dell'eccitazione UV ad alta energia relativamente elevata.

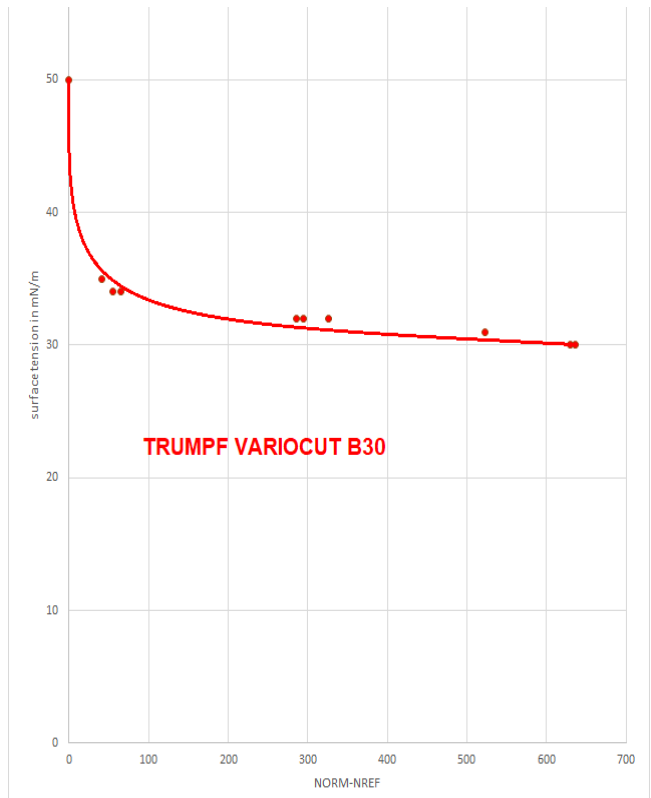
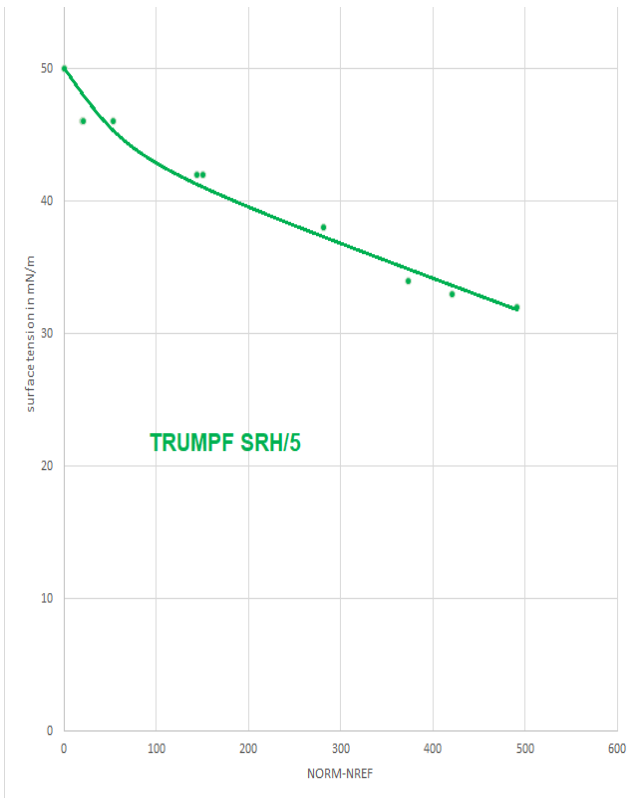
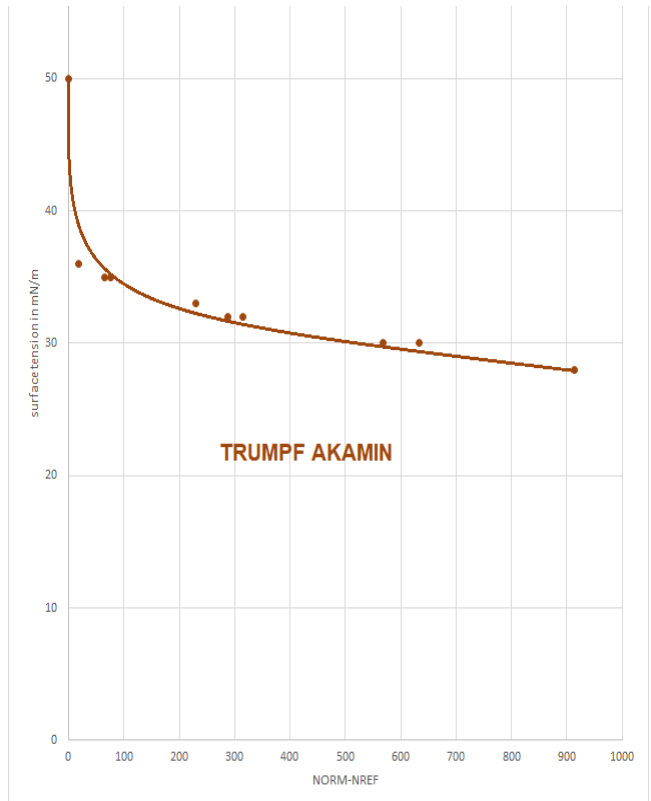
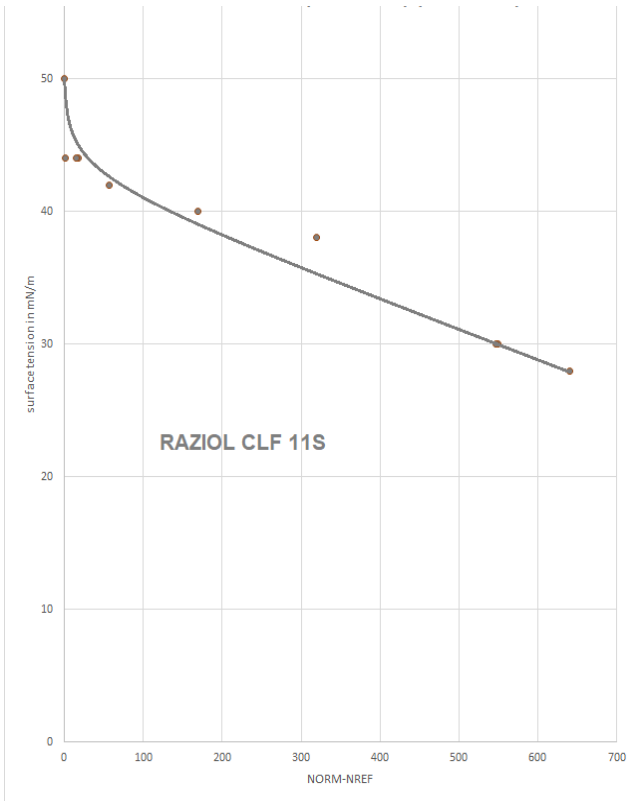
5.5.4 Correlazione tra il segnale MIR e la tensione superficiale misurata per tipo di olio

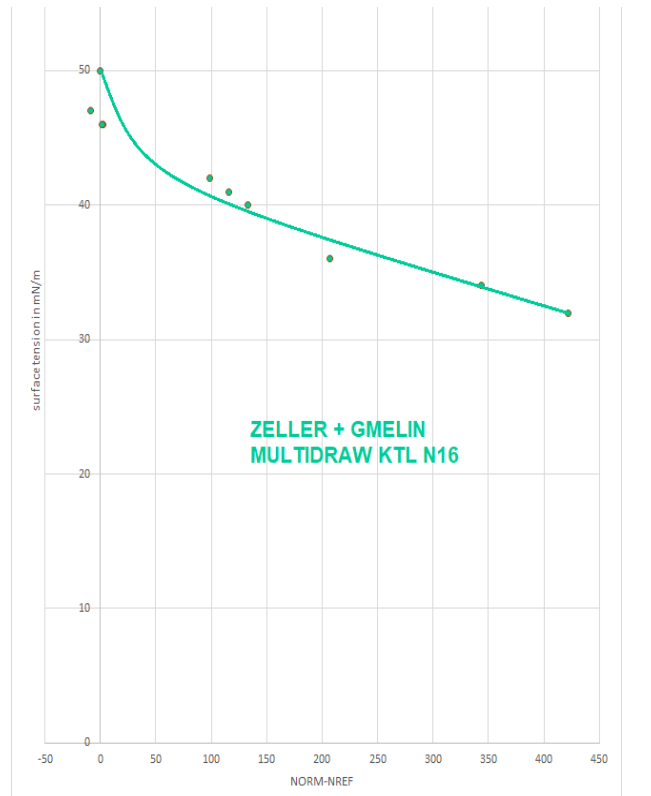
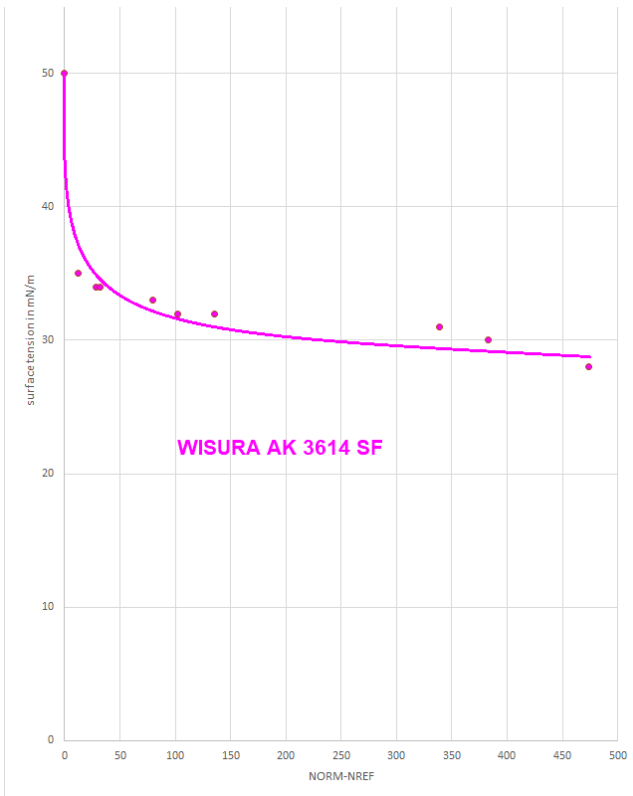
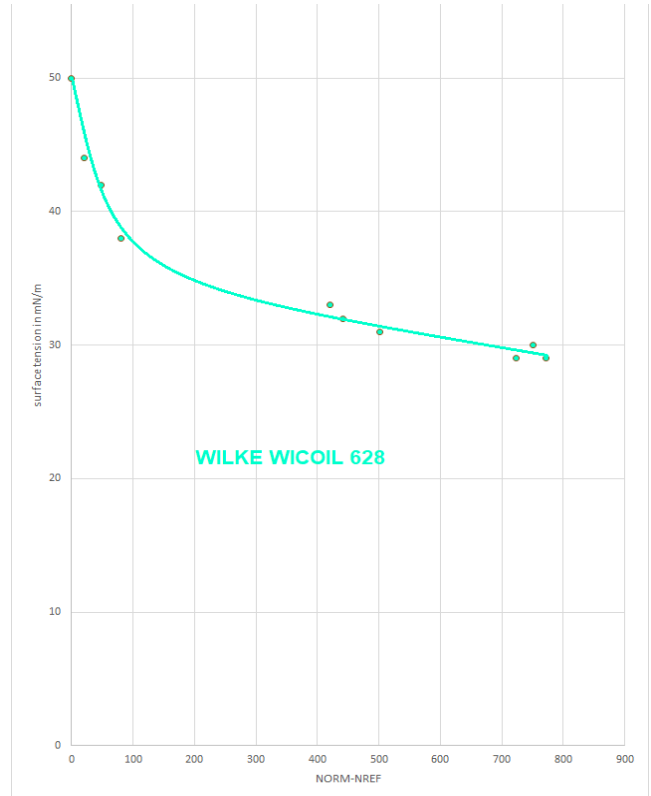
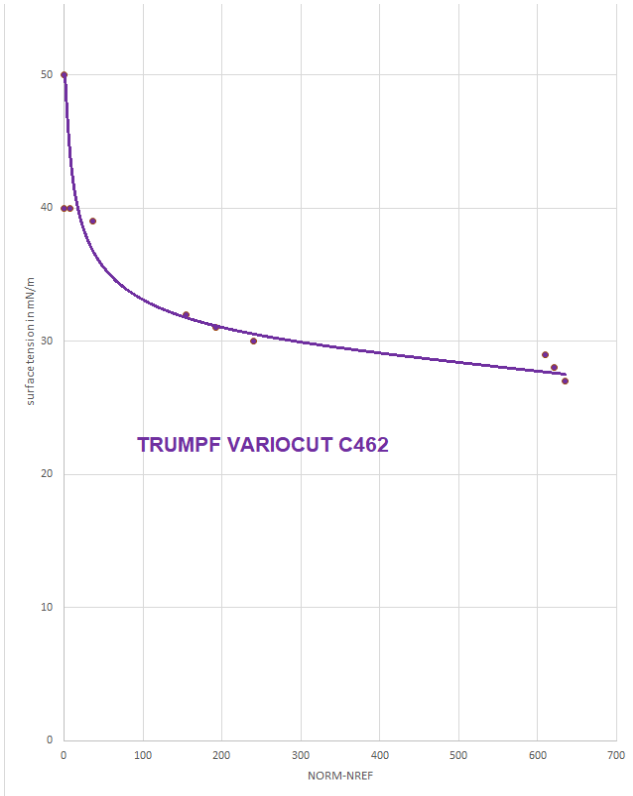
I gradi dell'olio sono stati misurati nelle posizioni 1 – 9 (**NORM**) dopo aver formato un valore di riferimento medio (**NORMref**) nelle quattro posizioni di riferimento (posizioni 10, 11, 12, 13). La differenza tra i due valori **NORM - NORMref** serve come misura della tensione superficiale.

I grafici seguenti documentano i risultati delle misurazioni. Sull'ordinata (asse x) sono stati tracciati i valori MIR misurati = **NORM - NORMref dello SPECTRO-M-10-MIR**, sulla coordinata (asse y) i valori della tensione superficiale in **mN/m**, che sono stati determinati con il metodo dell'inchiostro rosso di prova.

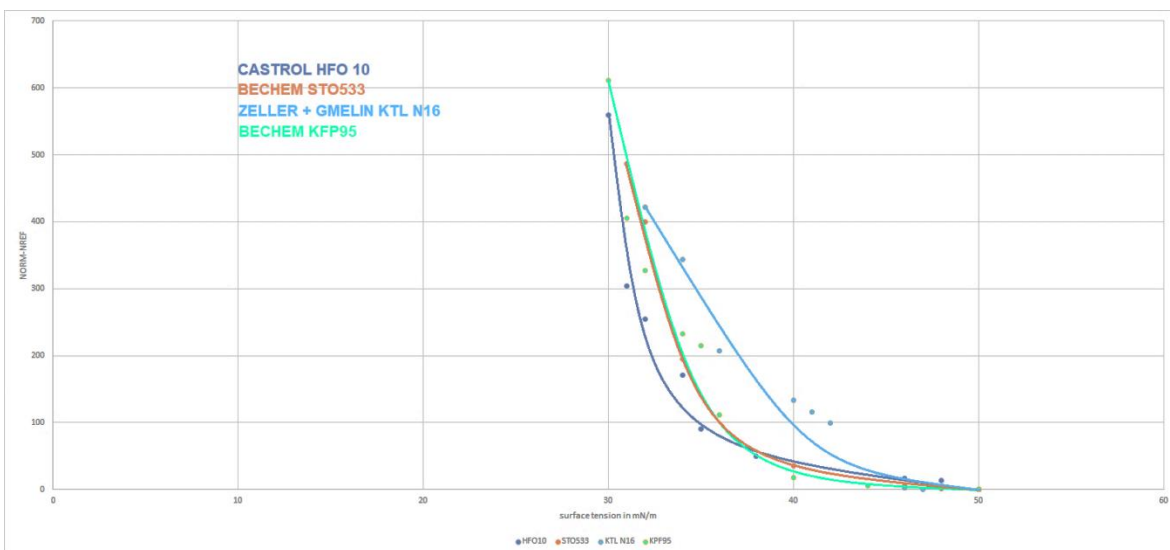
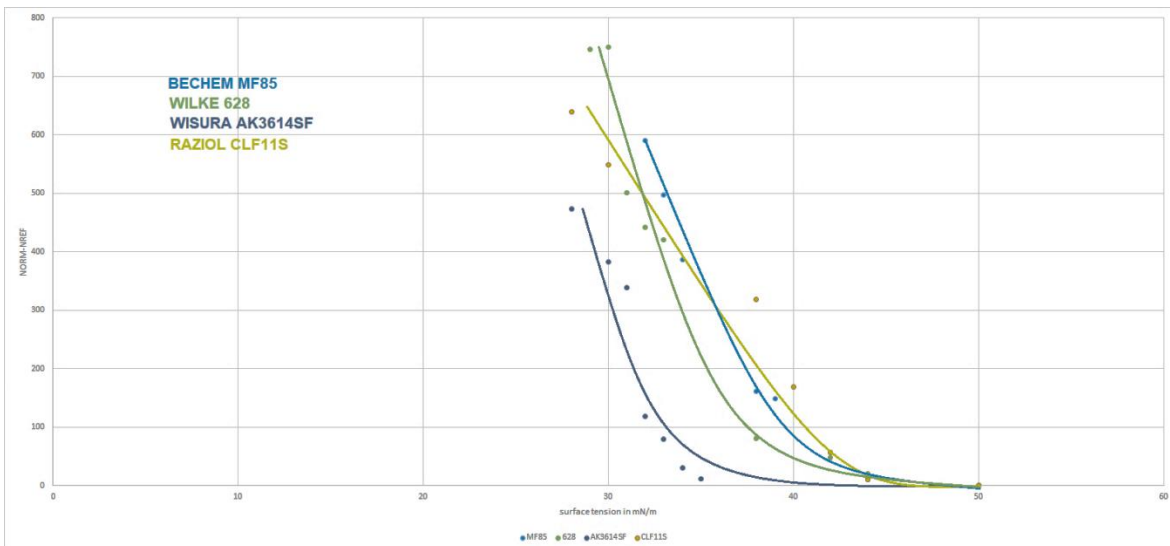
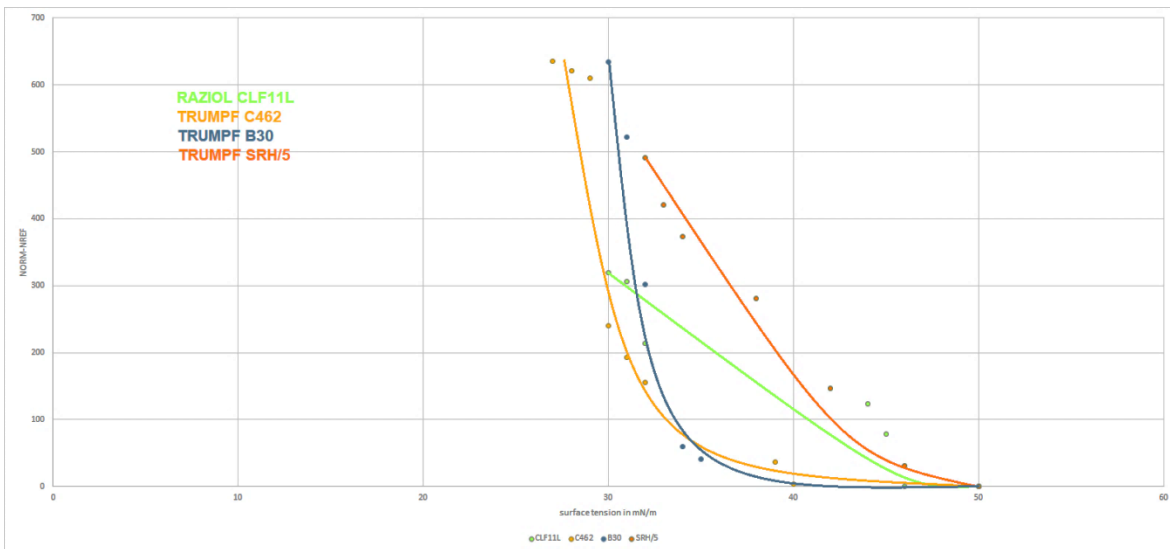


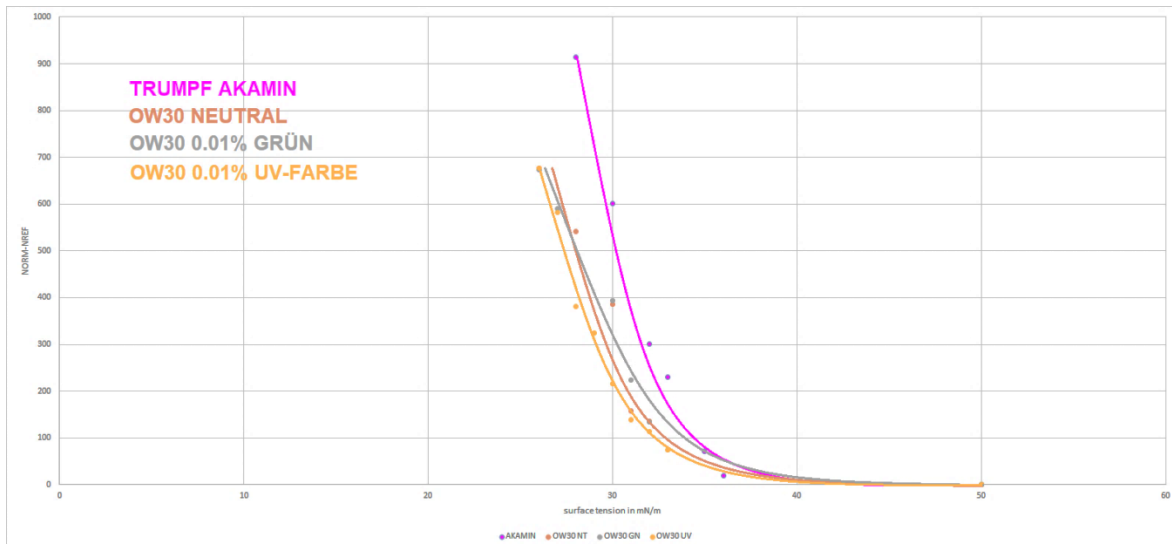






5.5.5 Confronto dei valori misurati MIR in funzione della tensione superficiale





Dalle curve di misura si può vedere che una calibrazione di fondo (Normref) sulla superficie metallica sottostante è raccomandata anche per il metodo di misura MIR. Per calibrare il metodo di misurazione di riferimento, gli strati di olio selezionati devono essere misurati con entrambi i metodi e i valori inseriti nello strumento CONVERSIONE del software SPECTRO MIR Scope.

Entrambe le calibrazioni possono essere eseguite dall'utente utilizzando il software Windows® **SPECTRO MIR Scope V1.0**. Oltre al rispettivo valore NORM viene visualizzato anche il valore della tensione superficiale.

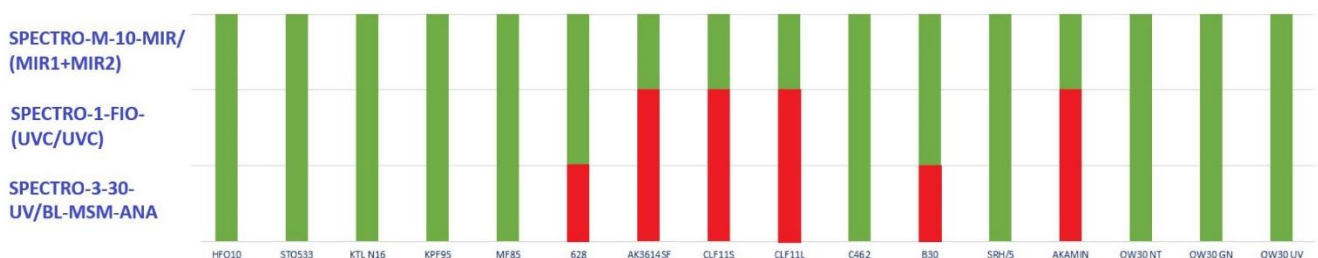
5.5.6 Confronto del metodo MIR con i sensori UVA e UVC

Parallelamente alle misurazioni con il sistema MIR, gli stessi oli sono stati testati anche con i sensori UV (UVA e UVC) della Sensor Instruments.

Lo SPECTRO-1-FIO-(UVC/UVC) è un sensore a fibra ottica con eccitazione in UVC (265nm) che rileva la riflessione/assorbimento in UVC, mentre lo SPECTRO-3-30-UV/BL-MSM-ANA è un sensore a fluorescenza con eccitazione UVA (LED ad alta potenza, 365nm) che valuta l'emissione nel campo visibile (tipicamente 450nm – 700nm).

A causa delle caratteristiche dei tipi di olio testati, i due sensori UV non sono stati in grado di rilevare tutti gli oli, in quanto alcuni hanno mostrato una fluorescenza UVA o un assorbimento UVC inesistente o difficilmente valutabile. La seguente tabella mette a confronto il MIR e i due metodi di misura UV in termini di idoneità alla misurazione dei tipi di olio testati.

Quali oli sono adatti per il rispettivo metodo di misura (verde: adatto, rosso: non adatto):



Altre importanti caratteristiche dei metodi di misura applicati a confronto:

Messverfahren	UVC	UVA	MIR
Empfindlichkeitsunterschiedsfaktor der verschiedenen Ölsorten	22	61	7
Signalabschwächungsfaktor bei Langzeitbelichtung	2	3	1.05
Fremdlichempfindlichkeit gegenüber Kunstlicht (LED - Weißlicht)	mittel	stark	gering
Messabstand in mm	5	15 (11)*	10
Detektionsbereich in mm	5	12 (1)*	10

* für das UVA - Messverfahren gibt es auch eine Lichtleiterversion, womit entsprechend kleine Detektionsbereiche erreicht werden können.

Rispetto ai metodi di misura UV con le fibre ottiche (piccola area di misura), lo SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) richiede un'area di prova un po' più grande che dovrebbe essere piatta. In tutti gli altri criteri, tuttavia, questo processo funziona meglio dei processi UV. Uno dei principali vantaggi del metodo di misura MIR è la valutazione standardizzata. Anche se questo non può sostituire la calibrazione personalizzata per ogni tipo di olio e superficie metallica, è possibile compensare in larga misura le variazioni della superficie metallica e l'eventuale deriva di intensità della sorgente luminosa utilizzata. Inoltre, quando si utilizza la luce artificiale (lampade a luce bianca a LED) per l'illuminazione non è possibile osservare influenze sul risultato della misurazione.

5.5.7 Riepilogo controllo dei residui d'olio

In pratica, la presenza di fil di olio su superfici metalliche è stata finora spesso controllata a campione con metodi offline come gli inchiostri di prova. Tuttavia, si tratta di un metodo a contatto, poiché occorre applicare l'inchiostro di prova sulla rispettiva superficie. Inoltre, questo metodo di determinazione della tensione superficiale dell'inchiostro di prova dipende anche dal punto di osservazione dell'osservatore (formazione di goccioline sì/no e in quale tempo?) e il fatto che vi sia solo una gradazione relativamente grossolana degli inchiostri di prova in termini di tensione superficiale (in passi di 2mN/m) non è certo di aiuto per un'analisi accurata. Inoltre, per questo metodo è necessaria una certa dimensione dell'area da testare (larghezza della pennellata x circa 15 mm di lunghezza). I metodi di misura 1 e 2 già spiegati consentono aree di misura molto piccole, ma hanno lo svantaggio che non tutti gli oli reagiscono al rispettivo effetto fisico, cioè si comportano in modo quasi neutrale.

Con la serie SPECTRO-M sono disponibili sensori in linea che, dopo la regolazione di riferimento (con superficie del metallo pulita), possono rilevare su superfici metalliche senza contatto anche strati di olio molto sottili (< 1µm).

Con la cosiddetta funzione di CONVERSIONE del sensore, è possibile assegnare anche valori di riferimento di altri metodi di misura della tensione superficiale ai valori MIR normalizzati del sensore. Dopo la calibrazione del sistema di riferimento, il sensore converte automaticamente i valori misurati nei valori del sistema di riferimento prima che vengano visualizzati o emessi. I valori di misura possono essere trasmessi ad un PLC tramite un'interfaccia dati o un'uscita analogica (0...10V, o 4...20mA).

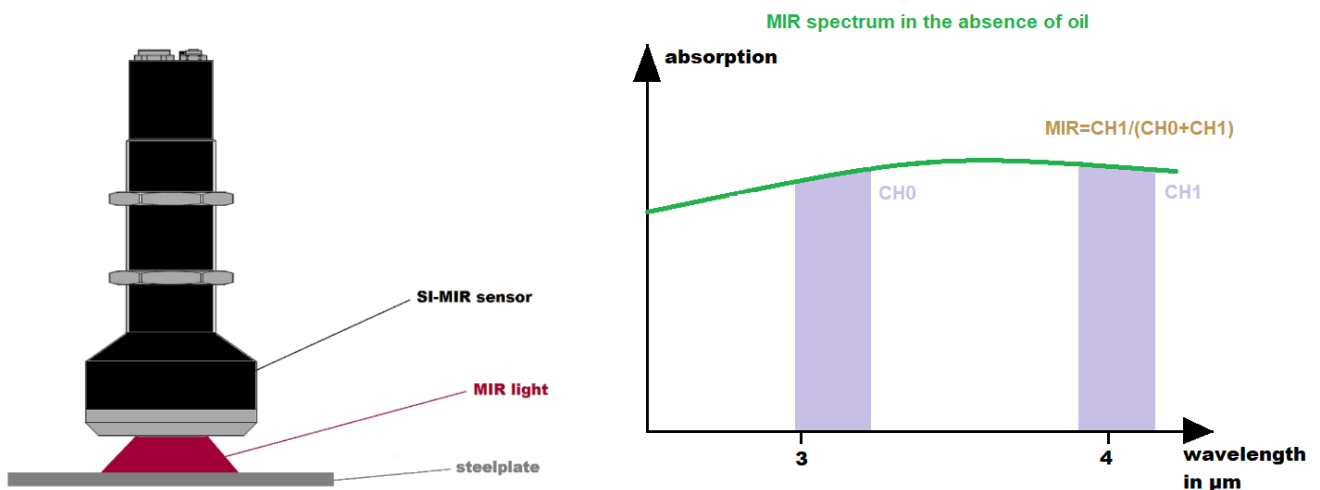
5.6 Controllo in linea dello spessore dello strato di olio

Se si vuole determinare lo spessore dello strato di un rivestimento della carta, ad esempio, di un inchiostro da stampa, il metodo della grammatura rappresenterebbe certamente un mezzo adeguato per determinarlo. La grammatura del rivestimento della carta non dovrebbe essere lontana dalla grammatura della carta con uno spessore di solito compreso tra 0,05 mm e 0,2 mm. Bilance della stessa precisione dovrebbero portare ad un risultato affidabile. Ma cosa succede se al posto dell'inchiostro da stampa si utilizza un olio, e al posto di un foglio di carta viene utilizzata, ad esempio, una lamiera di acciaio dello spessore di 1 mm? È probabile che il metodo della grammatura in questo caso riveli i suoi limiti.

Ma come si può determinare con facilità e in modo affidabile lo spessore dello strato di olio? Uno di questi è il metodo della fluorescenza, con il quale si utilizza luce UVA per eccitare la fluorescenza. L'emissione secondaria avviene nell'intervallo di lunghezze d'onda visibili. L'intensità del segnale di fluorescenza è una misura dello spessore del rispettivo strato di olio. Tuttavia, ci sono anche oli in cui l'effetto di fluorescenza difficilmente può essere misurato o è completamente assente, e la misurazione dello spessore del rivestimento con questa modalità non funziona. Con strati molto sottili, anche il segnale di fluorescenza non è molto pronunciato.

Osservando il campo dell'infrarosso medio (MIR), si può osservare che i rivestimenti organici, ad esempio uno strato di olio, mostrano un assorbimento significativo a CH₀, mentre non si verifica alcun assorbimento nella finestra della lunghezza d'onda di riferimento (CH₁).

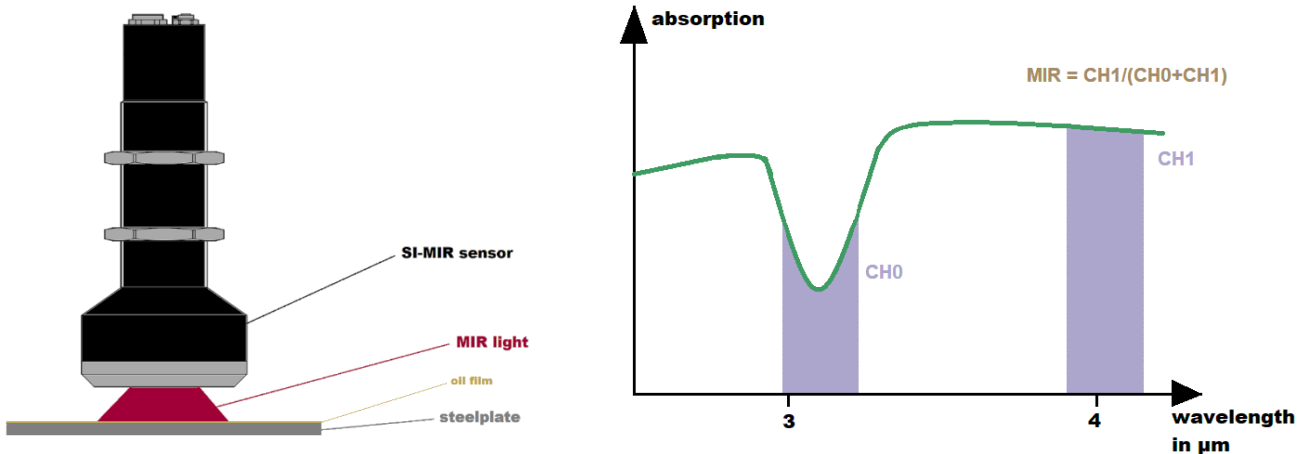
Il segnale MIR dello SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) mostra una relazione (in prima approssimazione) direttamente proporzionale tra lo spessore del film di olio e il segnale normalizzato.



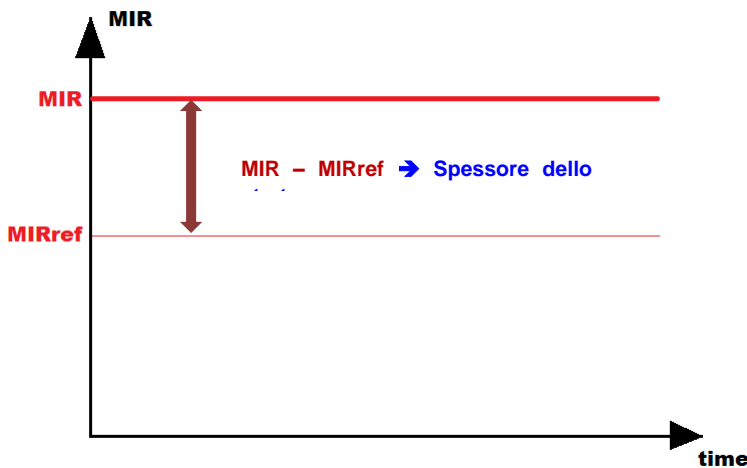
Il sensore SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) ha due finestre di lunghezza d'onda per la valutazione del segnale riflesso. Senza strato di olio l'assorbimento in entrambe le finestre di lunghezza d'onda è grosso modo simile. Questo valore può essere usato come valore di riferimento per la superficie metallica disoleata: $MIR_{ref} = CH_1 / (CH_0 + CH_1)$ corrisponde al valore di riferimento normalizzato della superficie metallica senza strato di olio, dove CH₀ e CH₁ sono i segnali grezzi determinati dalle due finestre di lunghezza d'onda.

Se la superficie d'acciaio viene ora bagnata con uno strato d'olio omogeneo, si ha un aumento del segnale MIR nello spettro MIR:

MIR spectrum in the presence of oil



Il canale di misura CH0 (a sinistra) rileva l'assorbimento supplementare causato dallo strato di olio, mentre la finestra di misura CH1 (a destra) rimane in gran parte inalterata.



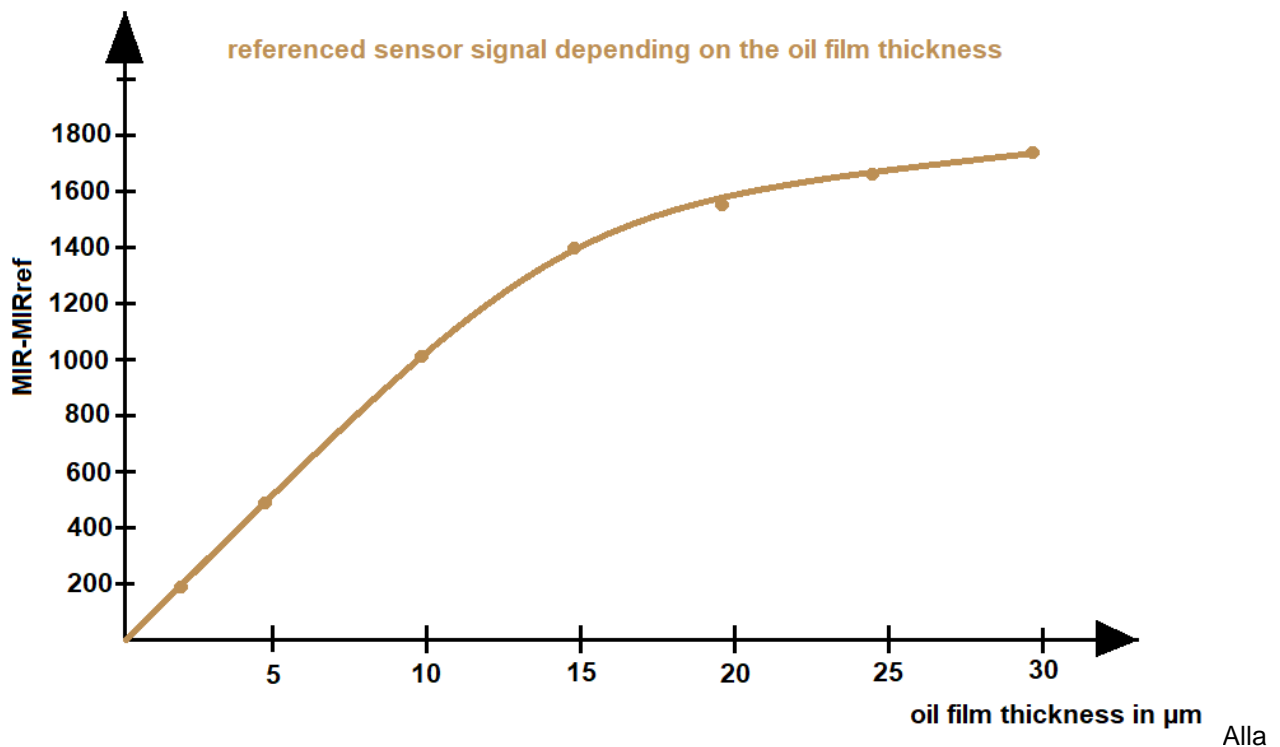
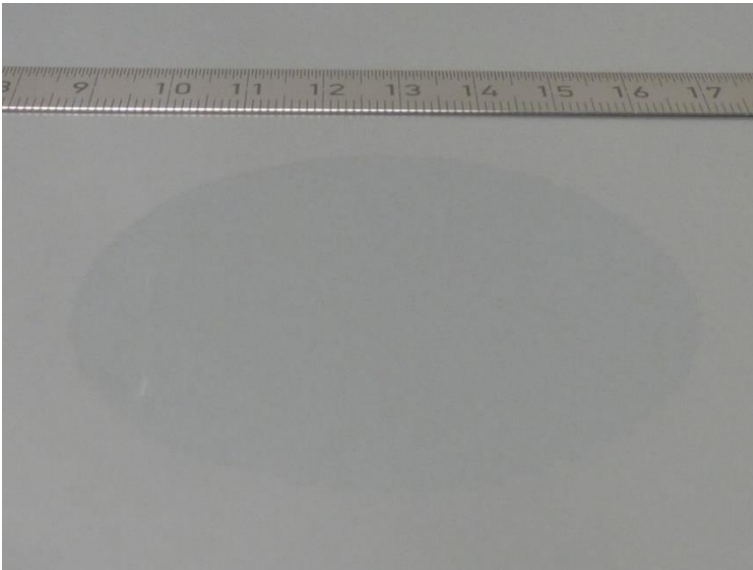
Il valore di misura $MIR = CH1 / (CH0 + CH1)$ si sposta verso l'alto a causa dell'assorbimento aggiuntivo, nella finestra CH0. Più l'assorbimento è intenso, cioè più spesso è ad esempio lo strato d'olio, più il valore MIR è lontano dal valore di riferimento MIRref (senza strato d'olio).

Sulla base dei diversi oli finora studiati, si è potuto constatare che l'assorbimento MIR dipende non solo dallo spessore dello strato di olio, ma anche dal tipo di olio. Inoltre, il fondo metallico riflettente ha una certa influenza sul risultato di misura, per cui si dovrebbe effettuare una calibrazione per quanto riguarda il rispettivo tipo di olio e lo sfondo prima di determinare l'effettivo spessore dello strato di olio.

Procedura: Per i test, sono state applicate in sequenza gocce d'olio con un volume di 20µl di olio su una superficie metallica sgrassata dello stesso tipo. La goccia d'olio è stata poi distribuita in modo omogeneo con una spatola su una superficie di 70 mm di diametro. Ora è possibile determinare lo spessore dello strato nel seguente modo: un volume d'olio di 20µl con un diametro della macchia d'olio di 70mm dà come risultato uno spessore dello strato di circa 5µm, con due gocce (40µl) 10µm, con 3 gocce (60µl) 15µm, ecc.



Dopo aver preparato i campioni con il rispettivo spessore dello strato, è stato possibile iniziare il processo di calibrazione. In primo luogo, tra i campioni di olio è stato determinato il valore medio di fondo MIRref (su sezioni prive di olio). Dopo la calibrazione il sensore **SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2)** è stato posizionato in fila sulle diverse superfici di prova e sono stati registrati i valori di misura dei singoli spessori dello strato.



fine del processo si ottiene una tabella di valori che viene qui sotto mostrata sotto forma di diagramma:

Il diagramma mostra che la risoluzione del metodo di misura è di 10nm (5000nm/500 cifre), la precisione di misura spazia nel range di circa 50nm. Fino a uno spessore dello strato il segnale MIR è quasi lineare rispetto allo spessore dello strato. Il limite superiore per la misurazione dello strato MIR è pari a circa 15 μm per l'olio misurato.

Per la misura in linea, basta rimuovere il distanziale e ... via! Oltre alle uscite digitali e analogiche, la tecnologia dei sensori avrà in futuro anche un bus di campo opzionale. Il sistema può essere facilmente parametrizzato e monitorato con il software Windows® MIR Scope V1.0. La distanza del sensore dalla superficie dell'oggetto è tipicamente pari a 10mm, il campo di rilevamento è di ca. 10 mm di diametro. Per gli oggetti di misura più piccoli si utilizzano Pannelli accessori che limitano opportunamente il campo di misura. Poiché il sistema di misura lavora di solito in modalità DC, si possono ottenere cicli di misura fino a 10 kHz.

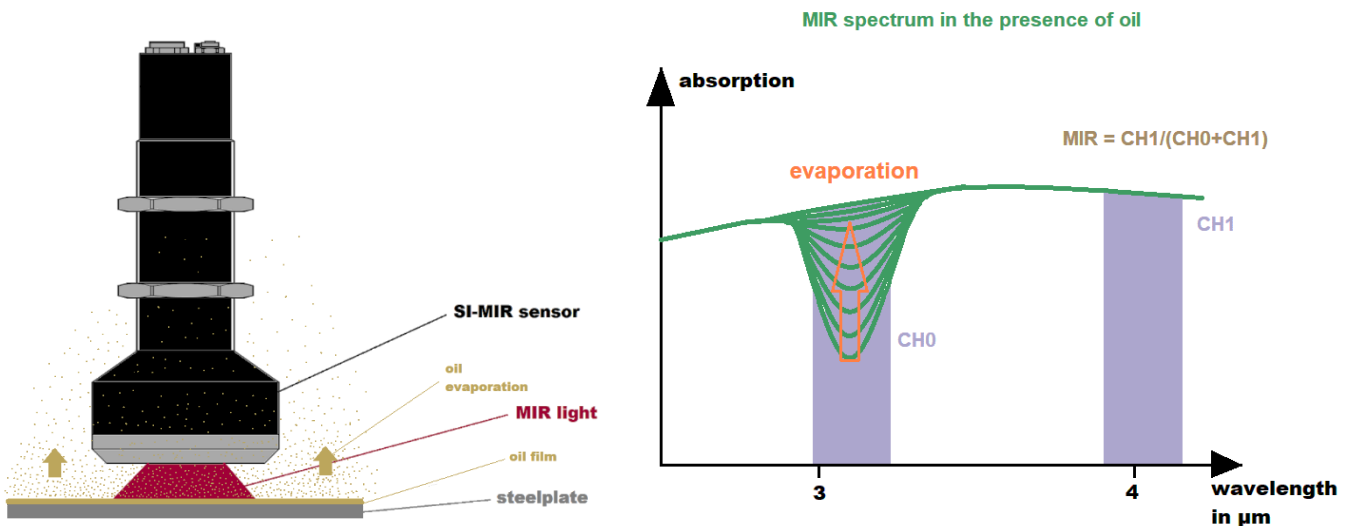
5.7 Misurazione dell'evaporazione di strati di olio

Nella produzione di componenti tranciati e piegati si utilizzano sempre più oli per tranciatura e imbutitura che dovrebbero evaporare dopo un certo tempo. L'idea è quella di lasciare il minor residuo di olio possibile sulle parti metalliche stampate o formate, in modo che in molti casi non sia necessario un processo di pulizia quando le parti metalliche vengono ulteriormente lavorate. Ma quanto dell'olio applicato rimane effettivamente sul componente e quanto tempo dura il processo di evaporazione?

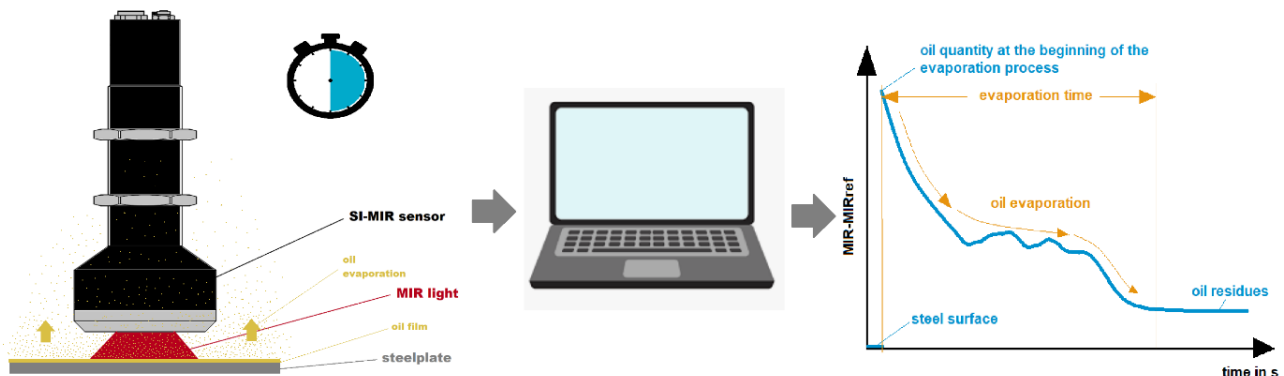
Per misurare l'evaporazione abbiamo applicato 5 gocce di olio (5x20µl) su ciascuna delle lamiere di acciaio sgrassate e le abbiamo sparse su una superficie con un diametro di 70 mm.

Lo spessore dello strato di olio all'inizio del processo di misurazione era di circa 25µm. Poi il sensore **SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2)** è stato posizionato centralmente sulla macchia d'olio e la misurazione ha potuto aver inizio.

Spettro MIR immediatamente dopo l'applicazione dello strato di olio di 25µm di spessore. Il campo di lunghezza d'onda CH0 è influenzato dalla presenza di olio, mentre nel campo di lunghezza d'onda CH1 non si osserva alcuna diminuzione del segnale.

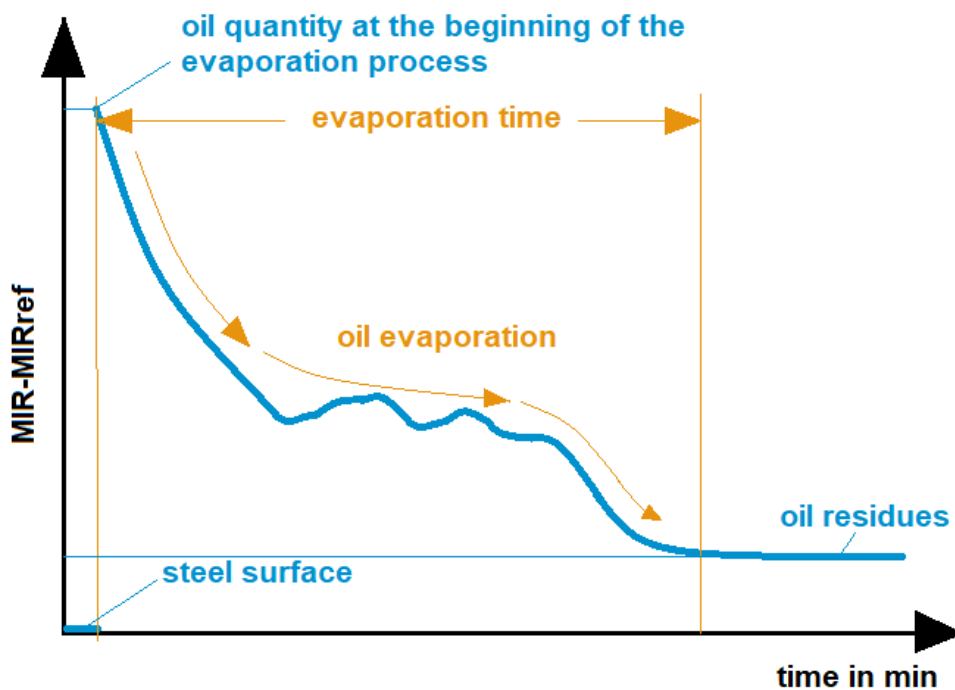


Spettro MIR in time lapse: la riduzione del segnale in CH0 causata dall'olio diminuisce con l'aumentare dell'evaporazione dell'olio.



Per un periodo di diverse ore si è registrato il segnale normalizzato MIR meno il segnale di riferimento normalizzato MIRref con l'ausilio del software Windows® MIR Scope V1.0:

Per tutti i campioni di olio testati è stato possibile determinare un percorso simile, come mostrato nel seguente diagramma:



Il tempo di evaporazione era compreso tra 60 min e 90 min. Il residuo di olio era tipicamente l'1% dello spessore dello strato originale per il campione più evaporante e il 50% dello spessore dello strato originale per il campione meno evaporante.

Il metodo di misurazione consente di testare il tempo di evaporazione degli oli in modo semplice e veloce, partendo da spessori di strato definiti. Il segnale residuo, che resta misurabile dopo che il segnale MIR si è stabilizzato, indica residui organici sulla superficie, che rimangono dopo il processo di evaporazione.

La funzione di registrazione del software SPECTRO MIR Scope del sensore SPECTRO-M consente di acquisire e registrare di continuo i valori di misura sotto forma di file ASCII, che può essere poi esportato in un programma di foglio di calcolo per la valutazione.

6 Misurazioni di prova sulla serie CLF 11

In una serie di prove separate sono stati esaminati gli oli per tranciatura della serie CLF 11 della ditta Raziol Zibulla & Sohn GmbH. I risultati delle serie di test sono riassunti nelle pagine seguenti.

6.1 Metodologia di prova e metodo di riferimento

Il metodo di riferimento utilizzato è stato l' "inchiostro rosso" – metodo con inchiostri di prova di arcotest(www.arcotest.de).

L'olio da testare è stato applicato su una lastra di metallo sgrassata (ad es. GARDOBOND di Chemetall) e poi l'inchiostro di prova di una certa tensione superficiale (indicata sul flaconcino, ad es. 38mN/m) è stato applicato sulla superficie dell'olio con il pennello contenuto nel flaconcino stesso.

Se le perle d'inchiostro di prova si staccano, continuare con il valore di tensione superficiale immediatamente inferiore fino a quando l'inchiostro di prova applicato non bagna la superficie dell'olio. Il valore di tensione superficiale indicato sul flaconcino d'inchiostro di prova corrisponde quindi all'incirca alla tensione superficiale della superficie metallica, compreso lo strato d'olio.

Più sottile è lo strato di olio, maggiore è la tensione superficiale per il tipo di olio utilizzato.

Per una serie di test è stato necessario applicare il rispettivo olio il più sottile possibile sulla superficie metallica sgrassata e poi strofinare il più intensamente possibile sulla superficie metallica con un panno privo di lanugine. L'olio è stato distribuito in modo omogeneo su un diametro di ca. 70 mm.

Di solito si ottengono spessori dello strato di olio compresi tra 0,1 μm e 3 μm , a seconda del tipo di distribuzione: 1 sfregamento, 2 sfregamenti, 3 sfregamenti con una quantità di olio di 20 μl (1 goccia), 40 μl (2 gocce), 60 μl 3 gocce. L'olio viene applicato con una pipetta, poi, a seconda dello spessore dello strato richiesto, l'olio viene sfregato (per spessori di strato compresi tra 0,1 μm e 3 μm) come già descritto, spalmato (per strati da 1 μm a 10 μm) o lasciato scorrere (per strati da 5 μm a 50 μm). Anche con questi ultimi due metodi, la quantità di olio viene distribuita su un diametro di circa 70 mm. Per ciascuna misurazione è stata utilizzata una lamiera di acciaio sgrassata e, a seconda della procedura, un panno vergine privo di lanugine, nonché una lama di plastica non usata. Inoltre, per ogni campione è stata utilizzata una piastra di prova sgrassata della ditta Chemetall



tipo GARDOBOND. Lo spessore dello strato è stato determinato dal diametro e dal volume di olio (ca. 20µl per goccia). Il calcolo è una prima stima, perché non è stato possibile stabilire con esattezza né il diametro né la quantità d'olio. Inoltre, i campioni di prova erano oli per tranciatura e di imbutitura ad evaporazione, vale a dire che si ha una certa quantità di ritiro già dall'inizio dell'applicazione! Nonostante l'uso di una lama di plastica, non è stato possibile evitare completamente che l'olio residuo aderisse alla lama di plastica invece che alla superficie d'acciaio. Si sono dovute accettare quantità di evaporazione più elevate a causa del flusso di olio, poiché il processo di scorrimento richiedeva più tempo del processo di spalmatura. Quando si strofina la quantità d'olio con un panno privo di lanugine, la maggior parte dell'olio si attacca al panno. Quindi non è più possibile calcolare lo spessore dello strato.

Per la nostra applicazione abbiamo utilizzato sia lamiera d'acciaio appropriate che lamiera d'alluminio con la proprietà superficiale **sgrassata**.

La tensione superficiale, determinata con il metodo dell'inchiostro di prova, è probabilmente superiore a 50mN/m su una superficie di prova di GARDOBOND® non ancora in uso, poiché non è stato possibile osservare nessun distacco di perle della superficie d'acciaio anche con l'inchiostro di prova più alto (50mN/m).



6.2 Specifiche del produttore per la serie CLF 11

Secondo la Raziol Zibulla & Sohn GmbH, la serie CLF 11 è costituita da oli per tranciatura e imbutitura ad evaporazione rapida:

“Tutti i prodotti Raziol CLF 11 ... W contengono un additivo di protezione anticorrosione temporanea per lo stoccaggio in ambienti interni. I suddetti prodotti evaporano, a seconda del contenuto di additivo, in un tempo relativamente breve. L'additivo rimane sulla superficie del pezzo”.



Inoltre la Raziol Zibulla & Sohn GmbH raccomanda l'utilizzo della serie CLF 11 nelle seguenti applicazioni (estratto da: www.raziol.com)

Anwendung der Raziol CLF 11 Reihe

- z.B bei der Herstellung von Elektrokontakten, von Stanz- und Biegeteilen, Federn, Drähten, Uhren, Metallwaren, von Dichtungselementen sowie von weißer Ware und Elementen der Kommunikationstechnik
- für Fertigungsteile geeignet auf denen möglichst wenig Rückstand verbleiben soll
- oftmals können Nachfolgeprozesse wie Kleben und Etikettieren ohne Waschen erfolgen
- Abdeckung eines breiten Leistungsspektrums durch die Zugabe unterschiedlicher leistungssteigernder Zusätze
- in Verbindung mit den Raziol Auftragsystemen wie Rollenbandölnern oder Sprühsystemen ist problemlos ein sparsames, definiertes Beölen mit den Produkten der Raziol CLF 11 Reihe möglich

Di seguito si può leggere il comportamento dei residui (www.raziol.com):

Rückstandsverhalten

gering < <

> > hoch



Sono stati testati i seguenti oli:

- CLF 11 L
- CLF 11
- CLF 11 W 10
- CLF 11 W 25
- CLF 11 SE
- CLF 11 S
- CLF 11 SB
- CLF 11 SD
- CLF 11 SB
- CLF 11 SD
- CLF 11 SF
- CLF 11 SG

I criteri di analisi erano.

- Tempo di evaporazione dei componenti volatili contenuti nell'olio
- Correlazione tra lo spessore dello strato di olio e il segnale normalizzato misurato
- Segnale del sensore normalizzato in funzione della tensione superficiale (sistema di riferimento)

6.3 Raziol CLF 11 L

6.3.1 Tempo di evaporazione dei componenti volatili contenuti nell'olio

A questo scopo sono state applicate 5 gocce d'olio (circa 100µl) sulla superficie d'acciaio sgrassata e poi la quantità d'olio è stata lasciata scorrere fino ad un diametro di circa 70mm. Quest'operazione è durata 5 minuti. Indipendentemente da una possibile deviazione dal volume d'olio di 100µl, dalla deviazione dal diametro di 70mm e dalla quantità d'olio che è evaporata durante l'applicazione entro i 5 minuti, si arriva matematicamente ad uno spessore dello strato d'olio di circa 25µm. Il tempo di evaporazione T_v determinato con i sensori, ovvero il tempo in cui i componenti volatili sfuggono dall'olio, era capri a 72 minuti. La quantità di residui di olio, cioè la quantità di olio ancora presente sulla superficie dell'acciaio trascorso questo tempo, era l'1% della quantità di olio applicata originariamente:

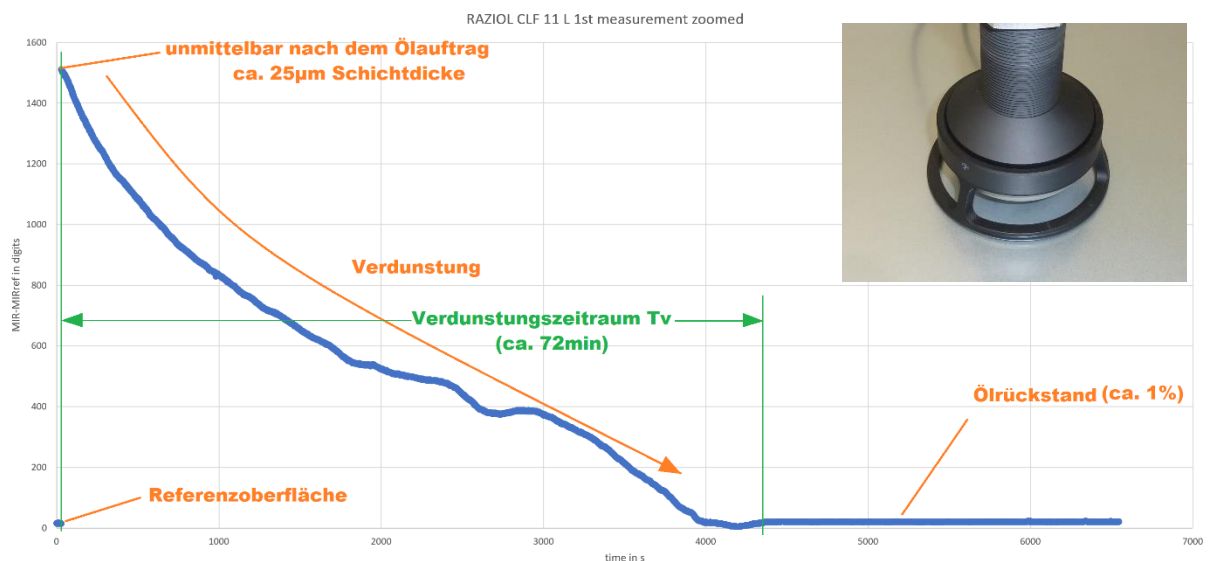
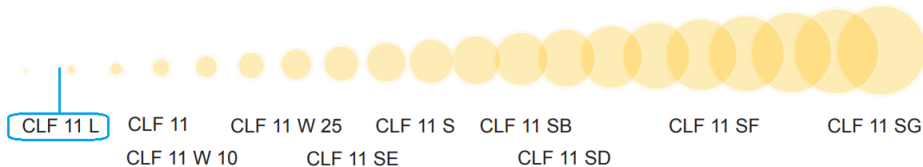
- Tempo di evaporazione: 72 min
- Quantità di residui di olio: 1%

CLF 11 L

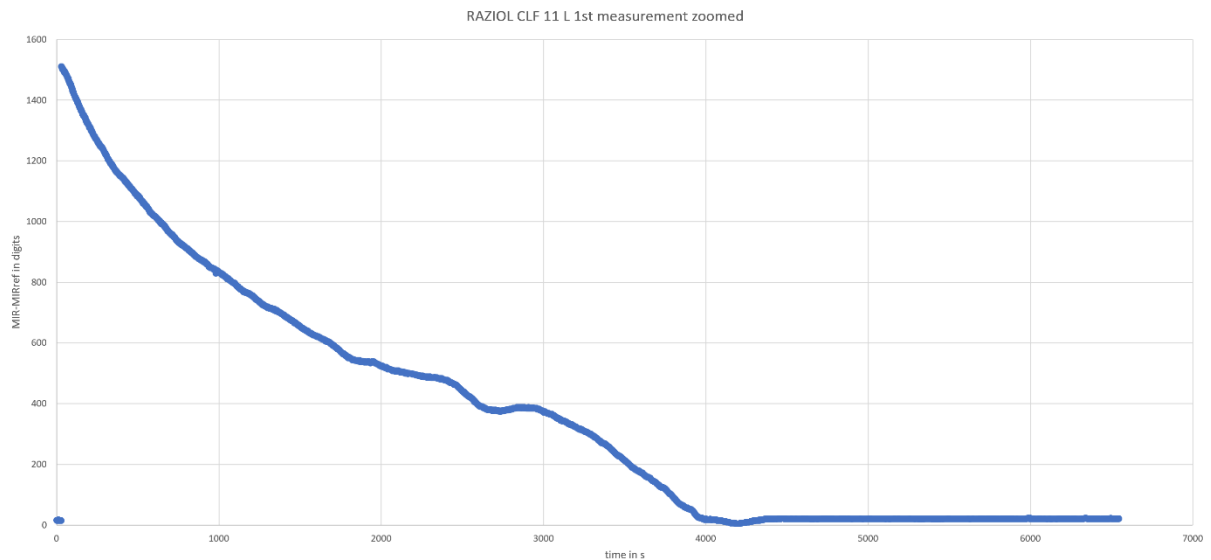
Rückstandsverhalten

gering < <

> > hoch

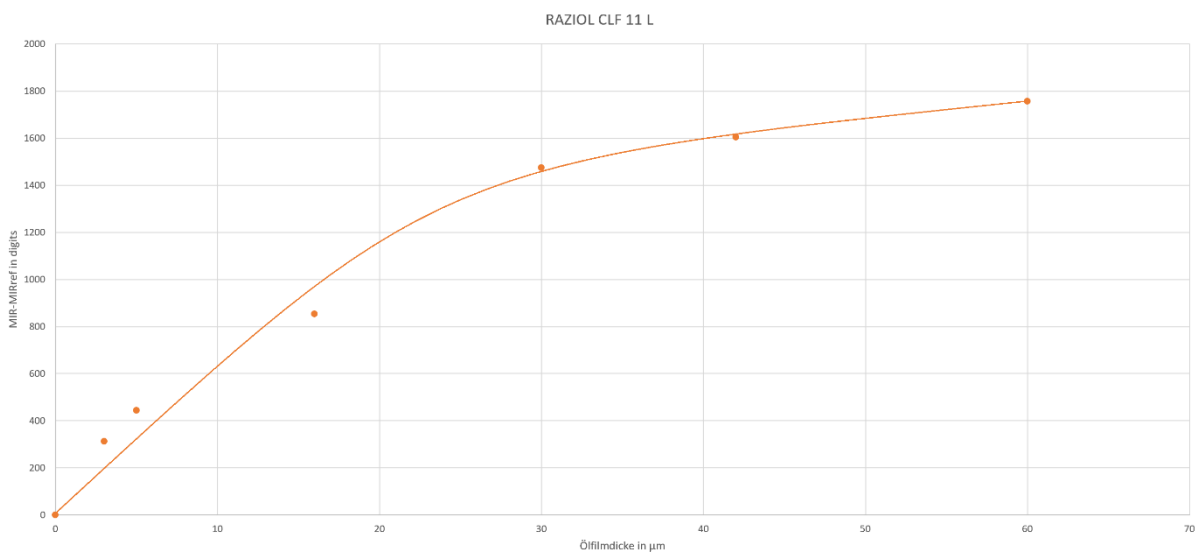


Schichtdicke	MIR	MIR-MIRref	ROTE TINTE	Anzahl	Ölfleck	Schichtdicke	Ölmenge
in μm	NORM in digits	deltaNORM in digits	in mN/m	Tropfen	Durchmesser in mm	in μm	in μl
3	2518	312		0,5	70	3	10
5	2650	444		1	75	5	20
16	3060	854		3	70	16	60
30	3680	1474		5	65	30	100
42	3810	1604		7	65	42	140
60	3963	1757		10	65	60	200
0	2206	0		0		0	0



6.3.2 Correlazione tra lo spessore dello strato di olio e il segnale normalizzato misurato

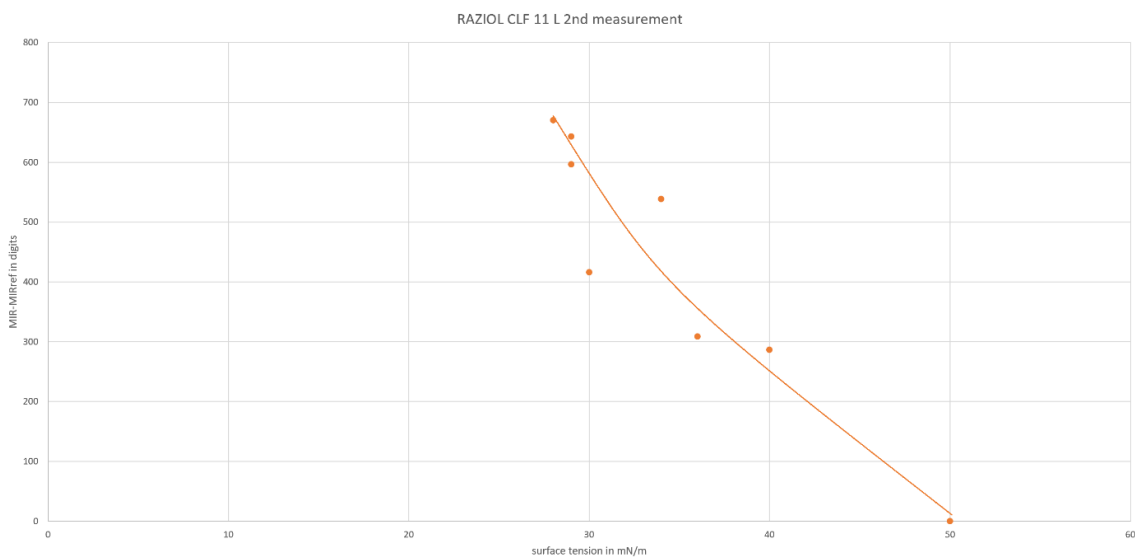
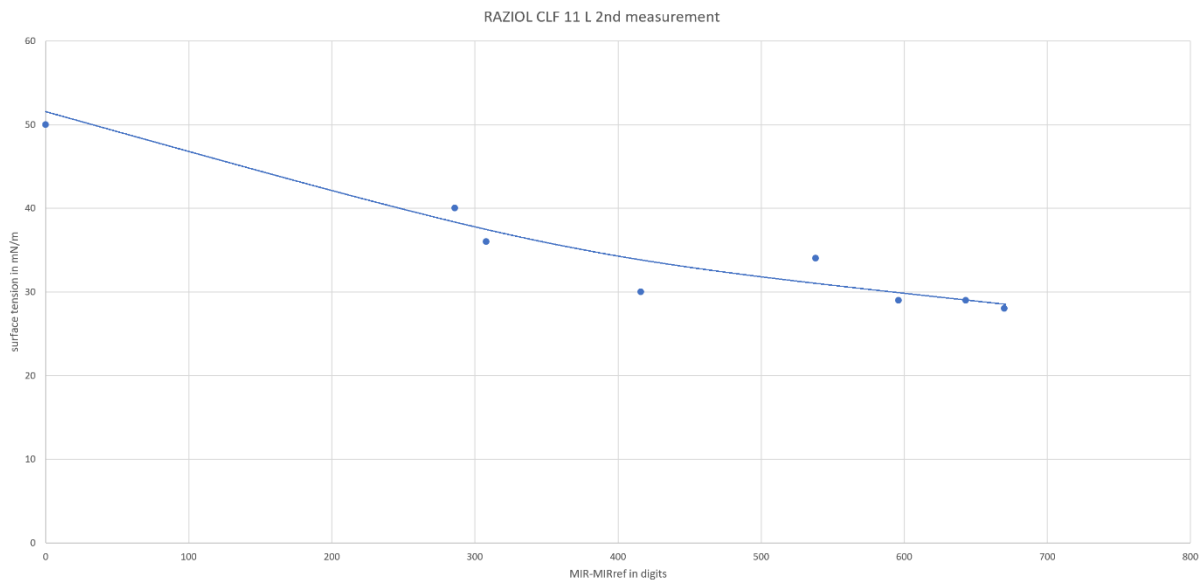
In ogni caso, le gocce d'olio venivano applicate su una superficie d'acciaio sgrassata e poi lasciate scorrere o, nel caso di un numero ridotto di gocce, la quantità d'olio veniva anche spalmata con una spatola di plastica, in modo che la quantità d'olio si distribuisse approssimativamente su una superficie con un diametro di 70 mm.



6.3.3 Segnale del sensore normalizzato in funzione della tensione superficiale

A questo scopo, un certo numero di gocce d'olio è stato applicato su una superficie d'acciaio sgrassata, e poi la quantità d'olio è stata strofinata con un panno privo di lanugine un numero diverso di volte. In seguito, i valori misurati sono stati determinati dapprima con il sensore SPECTRO-M, poi con l'inchiostro rosso di prova per determinare la tensione superficiale.

ROTE TINTE in mN/m	MIR NORM in digits	MIR-MIRref deltaNORM in digits	ROTE TINTE in mN/m
29	2637	643	29
28	2664	670	28
29	2590	596	29
30	2410	416	30
36	2302	308	36
40	2280	286	40
34	2532	538	34
50	1994	0	50



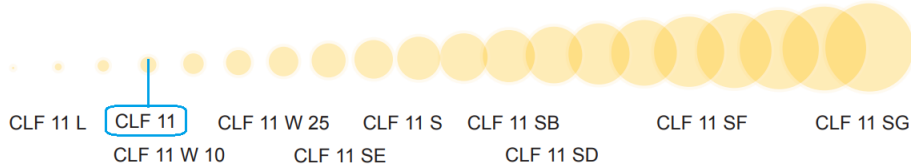
6.4 Raziol CLF 11

CLF 11

Rückstandsverhalten

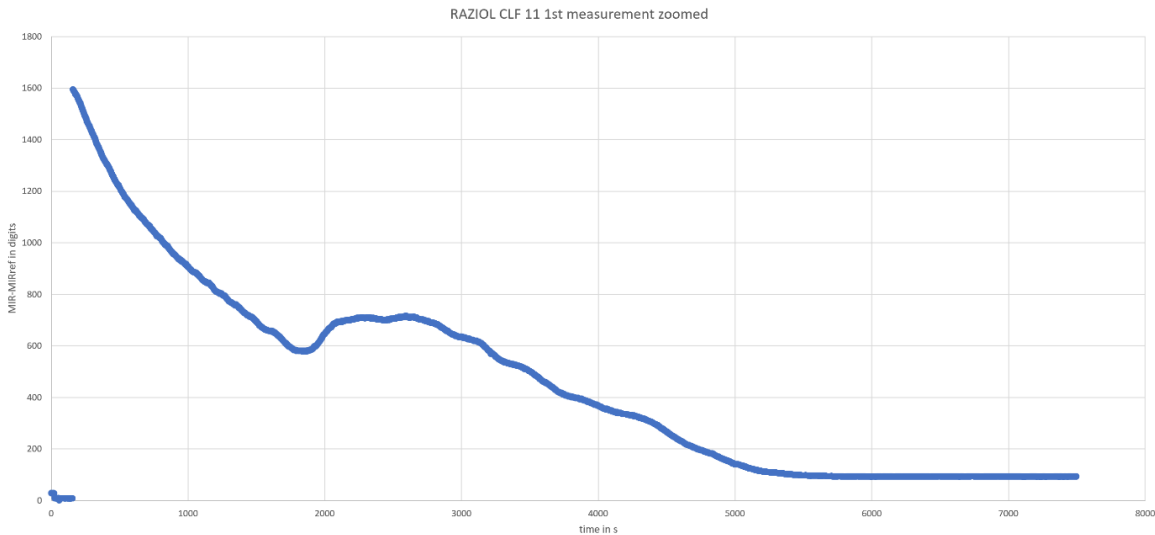
gering < <

> > hoch

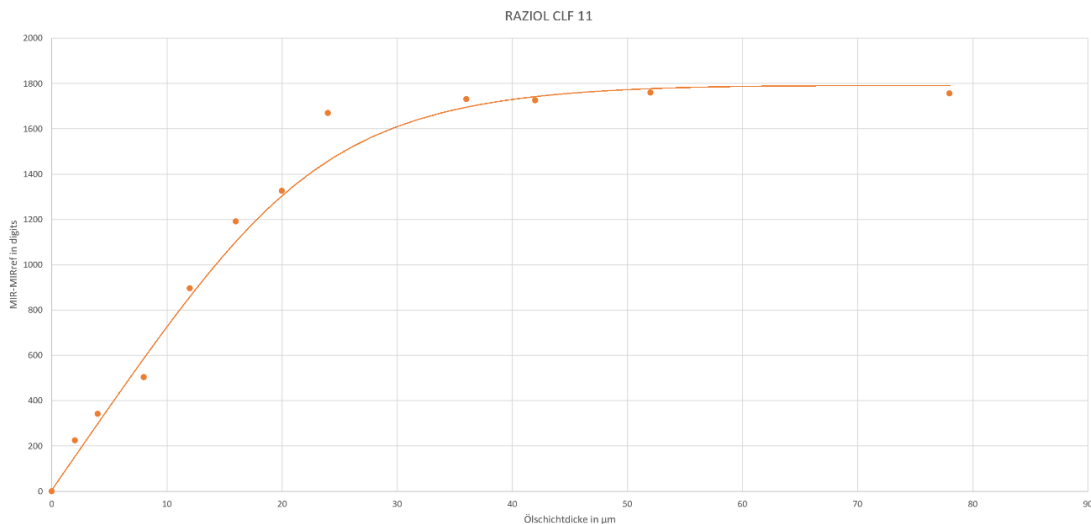


6.4.1 Tempo di evaporazione dei componenti volatili contenuti nell'olio

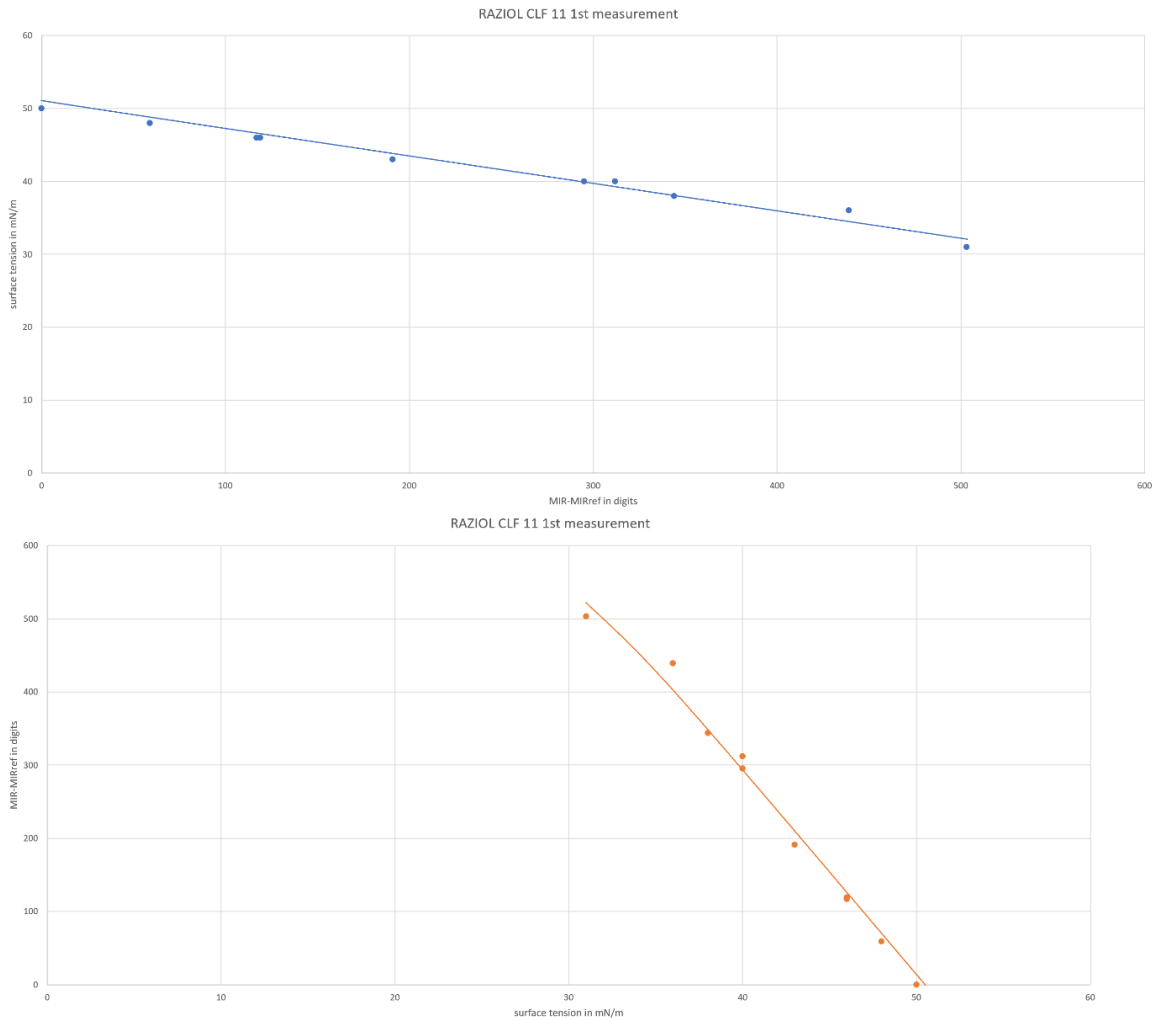
- Tempo di evaporazione: ca. 90 min
- Quantità di residui di olio: circa il 6%



6.4.2 Correlazione tra lo spessore dello strato di olio e il segnale normalizzato misurato



6.4.3 Segnale del sensore normalizzato in funzione della tensione superficiale



6.5 Raziol CLF 11 W 10

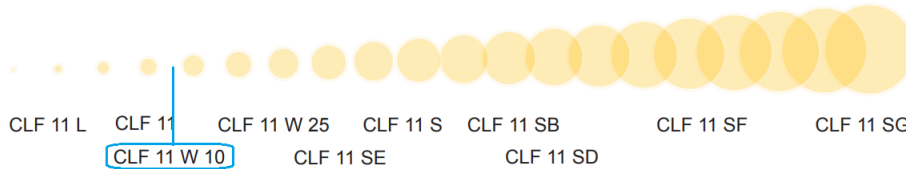
6.5.1 Tempo di evaporazione dei componenti volatili contenuti nell'olio

CLF 11 W 10

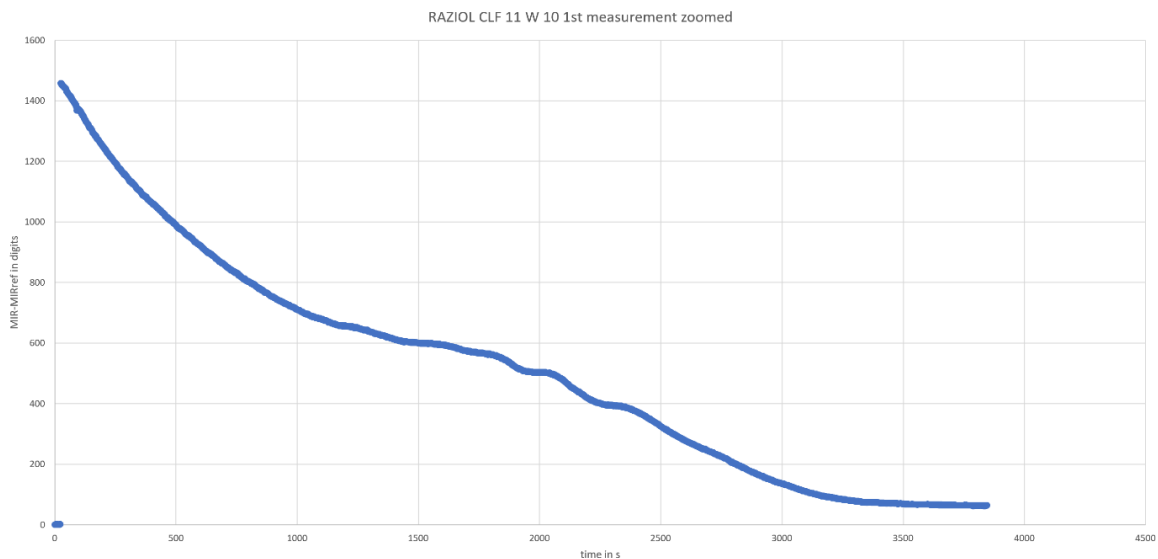
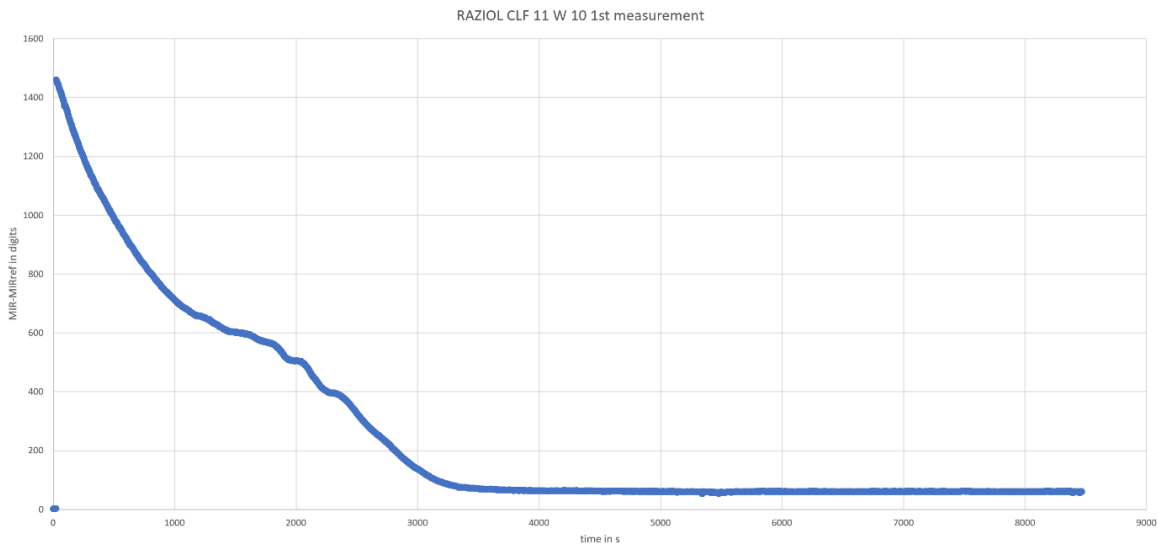
Rückstandsverhalten

gering < <

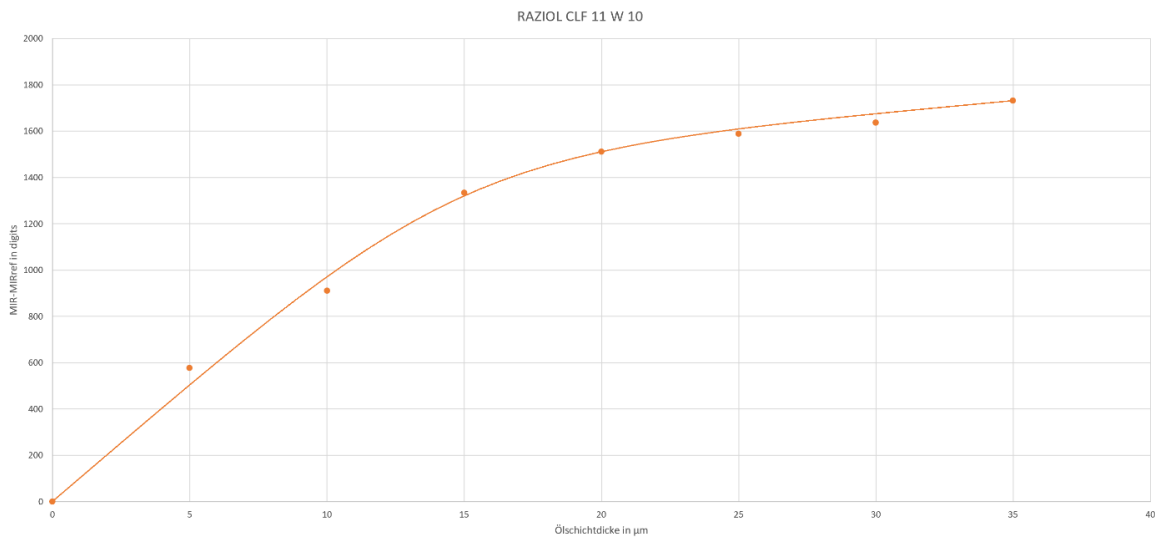
> > hoch



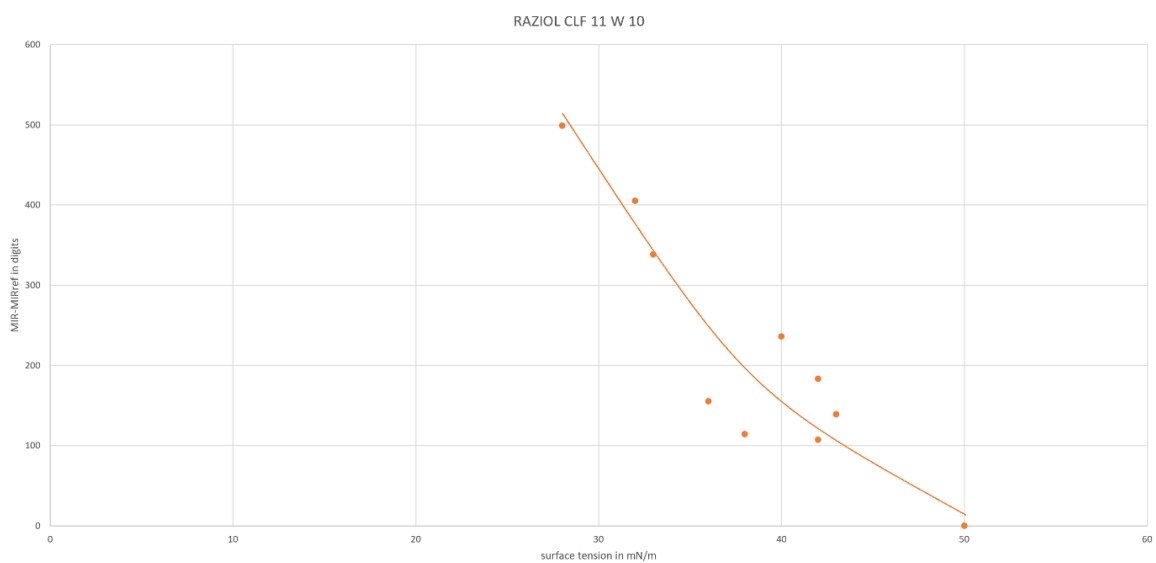
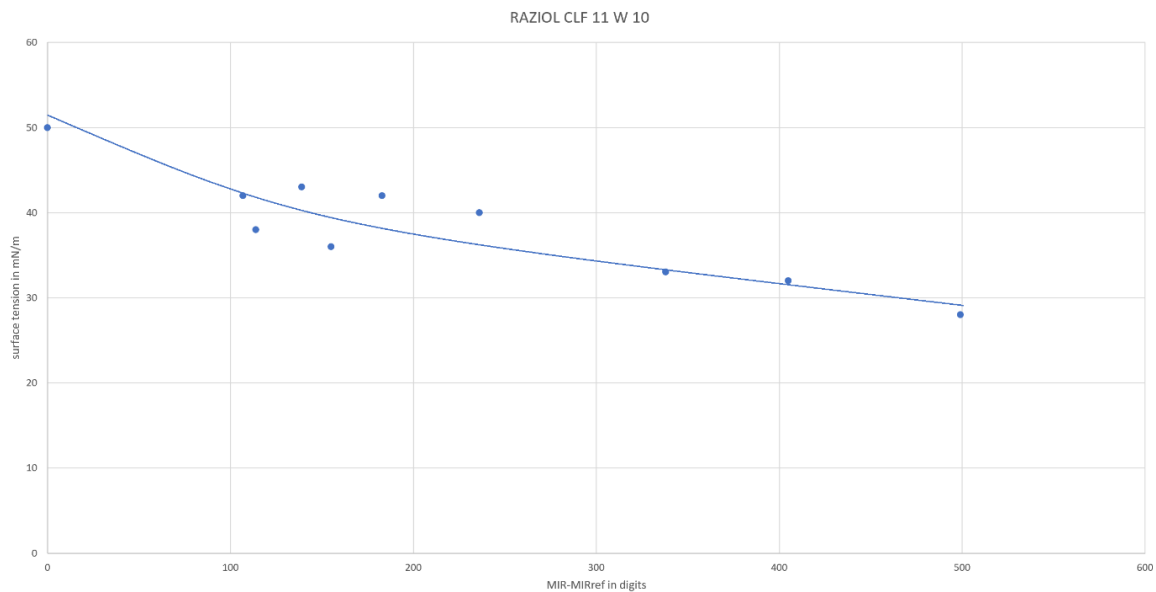
- Tempo di evaporazione: ca. 62 min
- Quantità di residui di olio: circa il 5%



6.5.2 Correlazione tra lo spessore dello strato di olio e il segnale normalizzato misurato



6.5.3 Segnale del sensore normalizzato in funzione della tensione superficiale



6.6 Raziol CLF 11 W 25

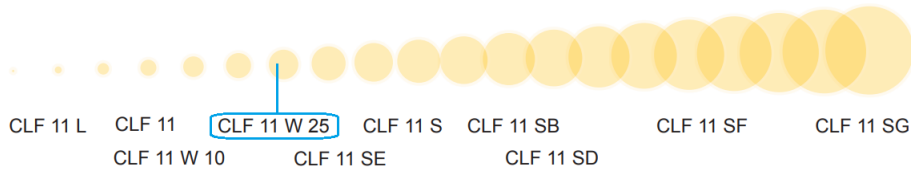
6.6.1 Tempo di evaporazione dei componenti volatili contenuti nell'olio

CLF 11 W 25

Rückstandsverhalten

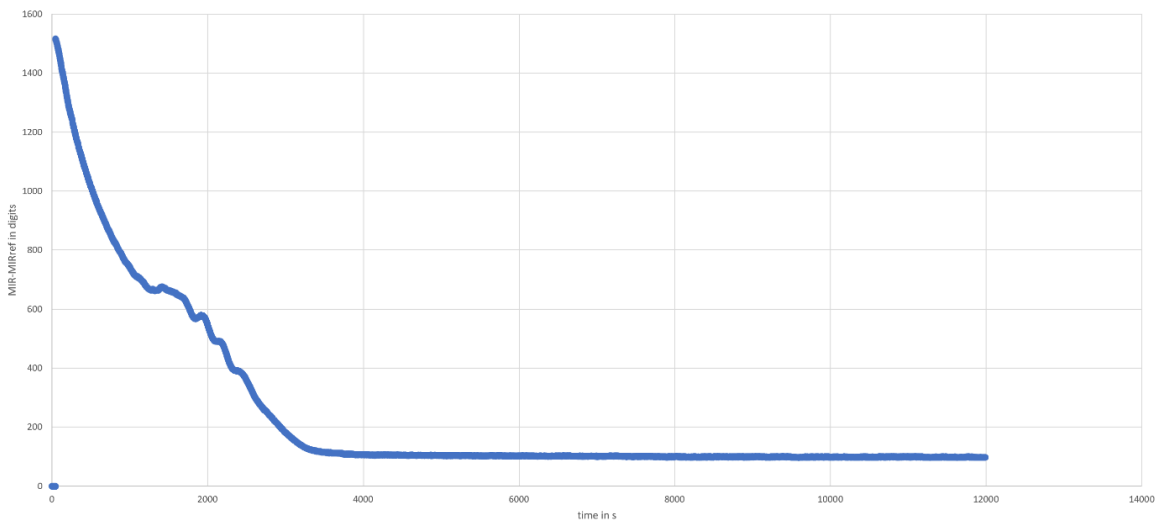
gering < <

> > hoch

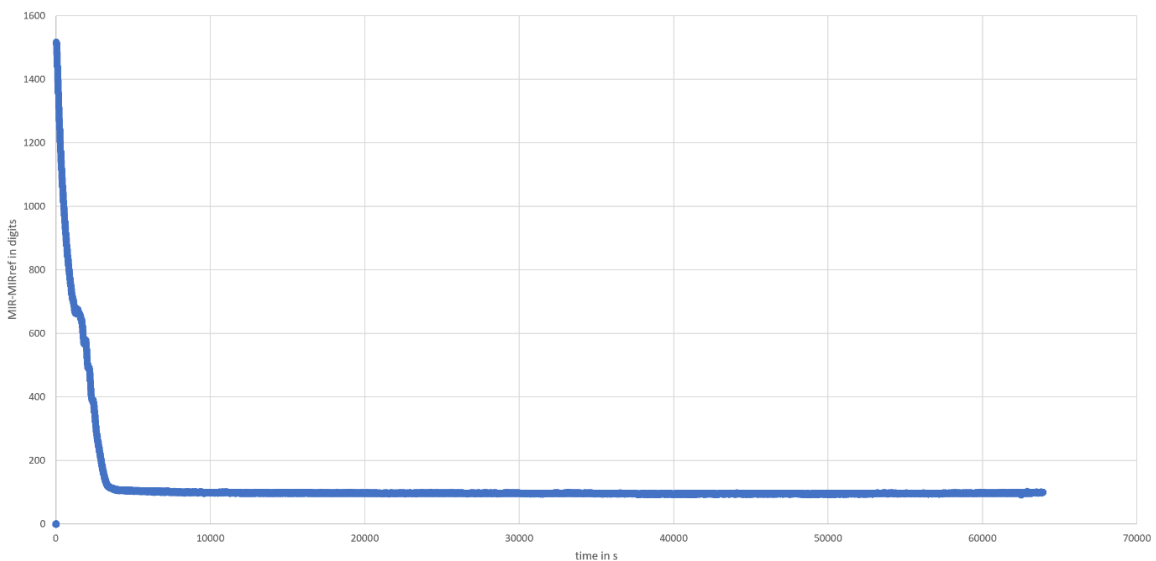


- Tempo di evaporazione: ca. 58 min
- Quantità di residui di olio: circa il 7%

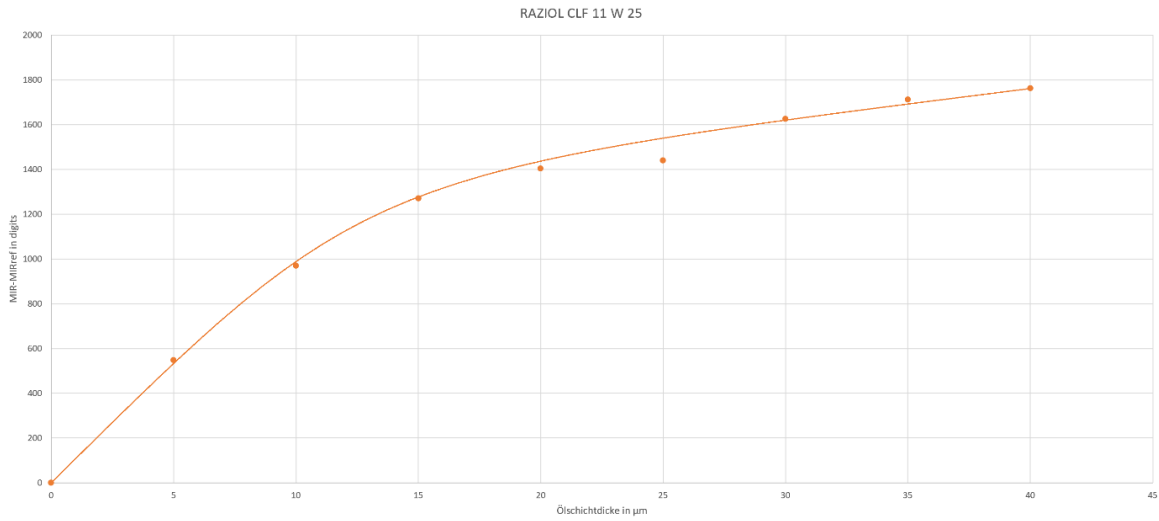
RAZIOL CLF 11 W 25 2nd measurement zoomed



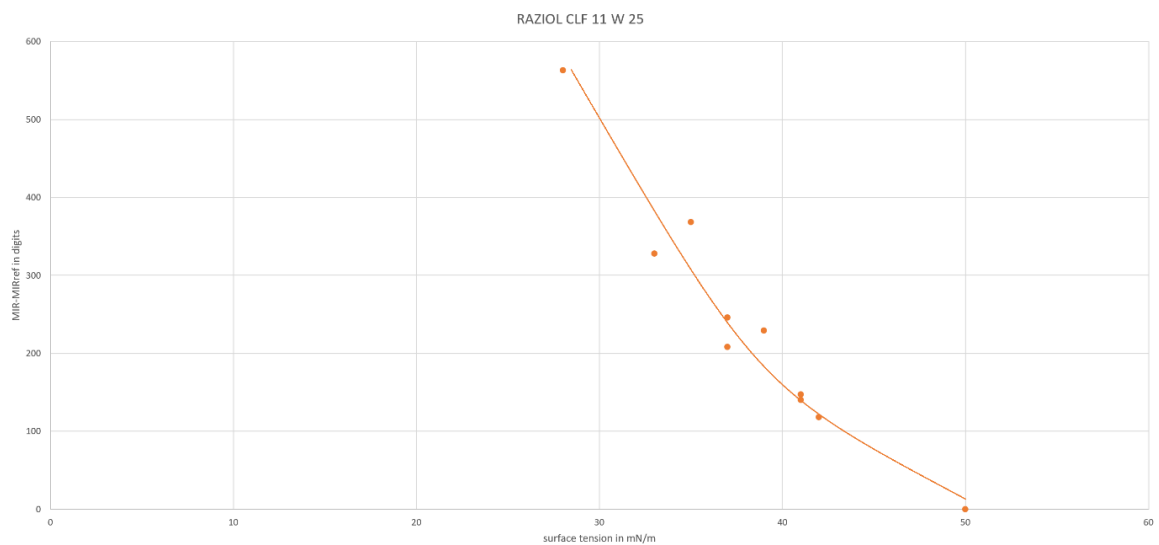
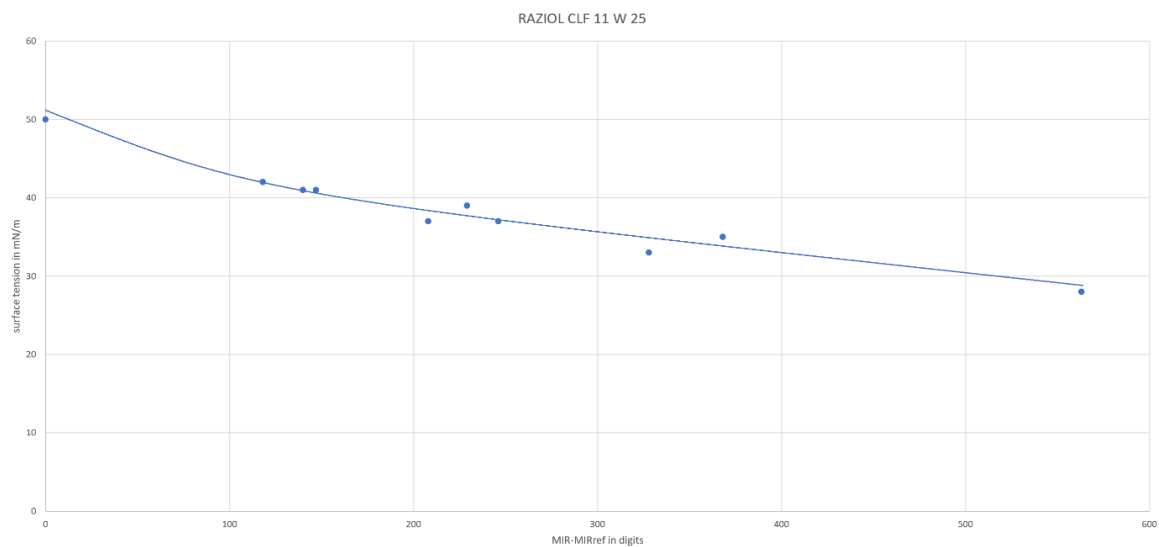
RAZIOL CLF 11 W 25 2nd measurement



6.6.2 Correlazione tra lo spessore dello strato di olio e il segnale normalizzato misurato



6.6.3 Segnale del sensore normalizzato in funzione della tensione superficiale



6.7 Raziol CLF 11 SE

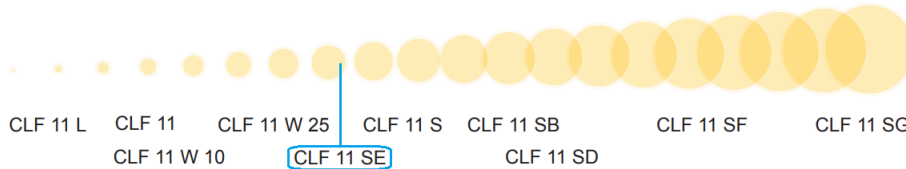
6.7.1 Tempo di evaporazione dei componenti volatili contenuti nell'olio

CLF 11 SE

Rückstandsverhalten

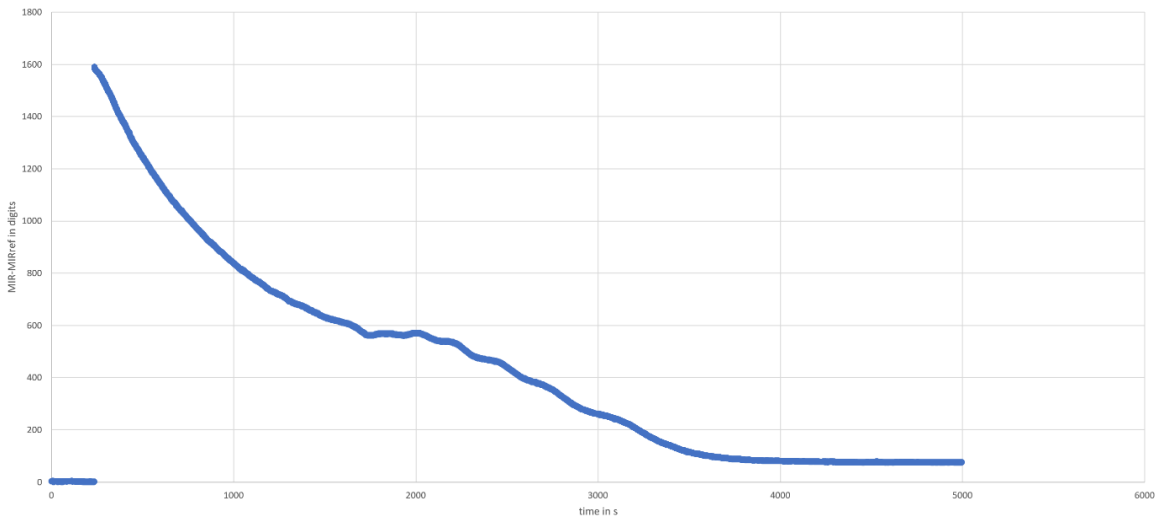
gering < <

> > hoch

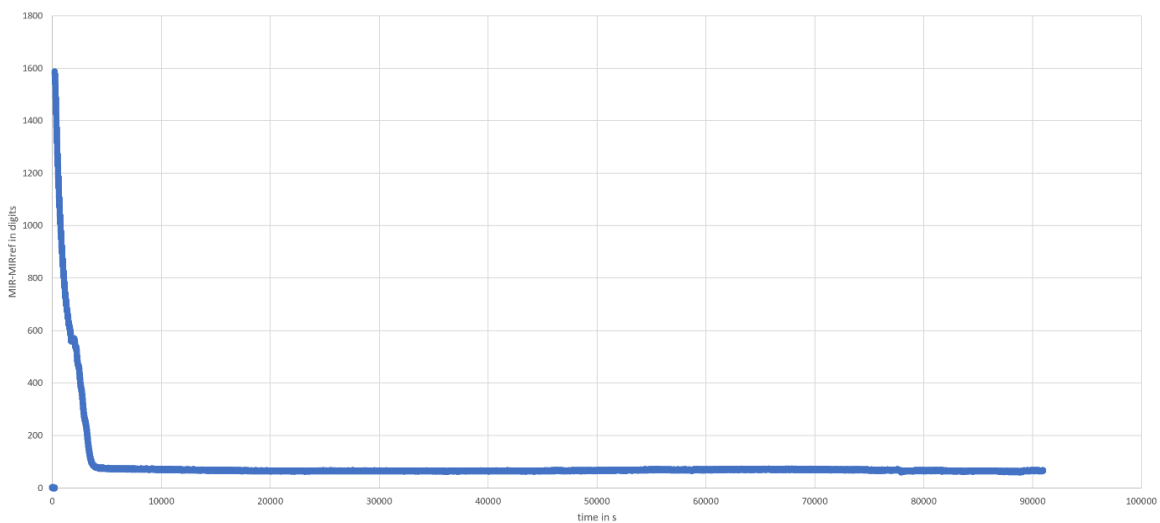


- Tempo di evaporazione: ca. 60 min
- Quantità di residui di olio: circa il 5%

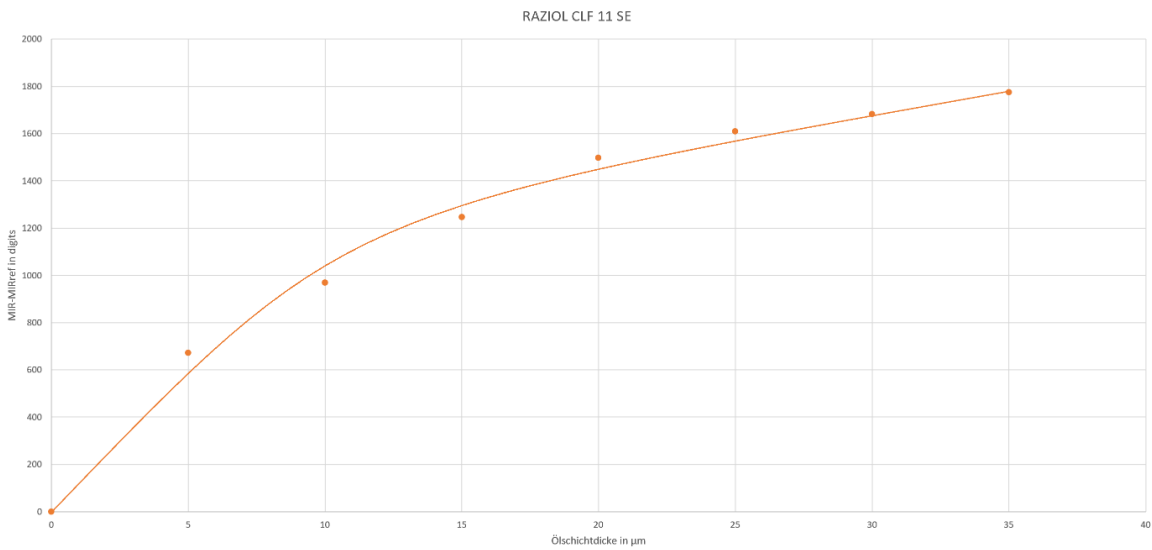
RAZIOL CLF 11 SE 1st measurement zoomed



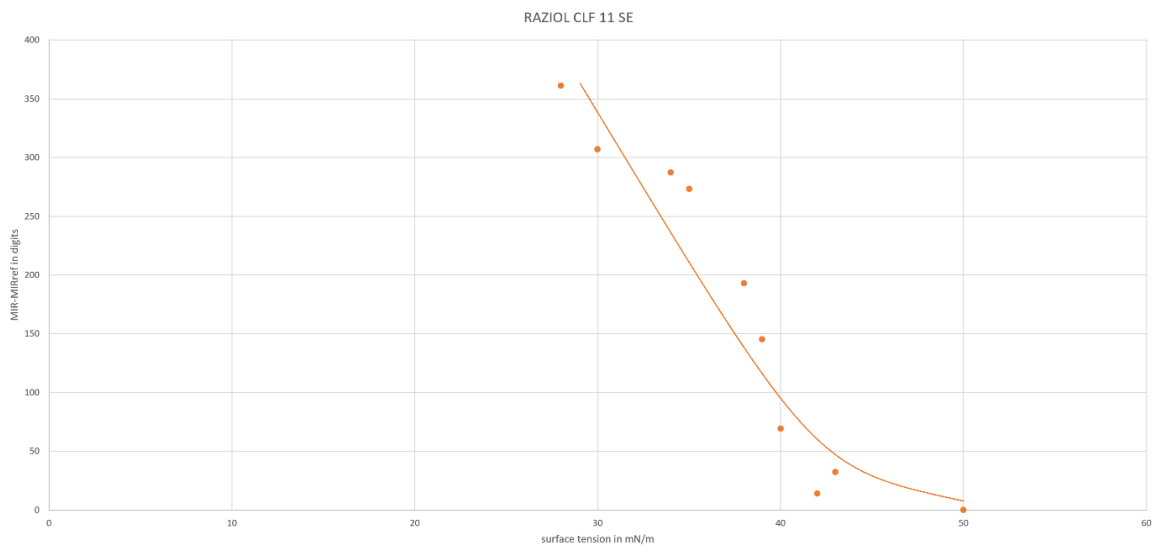
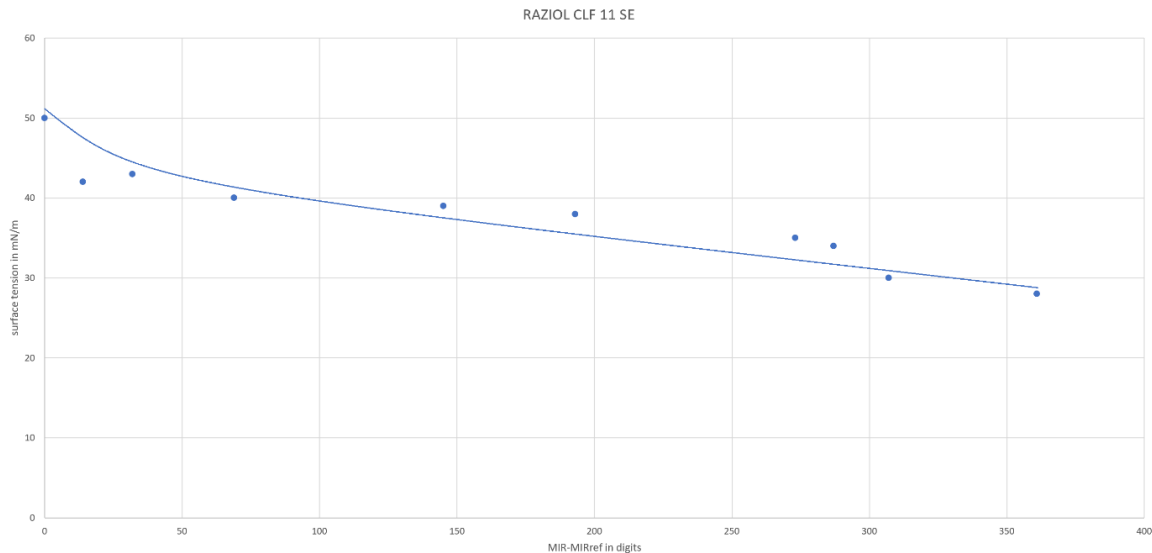
RAZIOL CLF 11 SE 1st measurement



6.7.2 Correlazione tra lo spessore dello strato di olio e il segnale normalizzato misurato



6.7.3 Segnale del sensore normalizzato in funzione della tensione superficiale



6.8 Raziol CLF 11 S

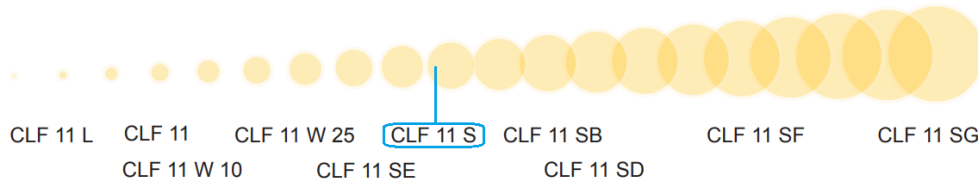
6.8.1 Tempo di evaporazione dei componenti volatili contenuti nell'olio

CLF 11 S

Rückstandsverhalten

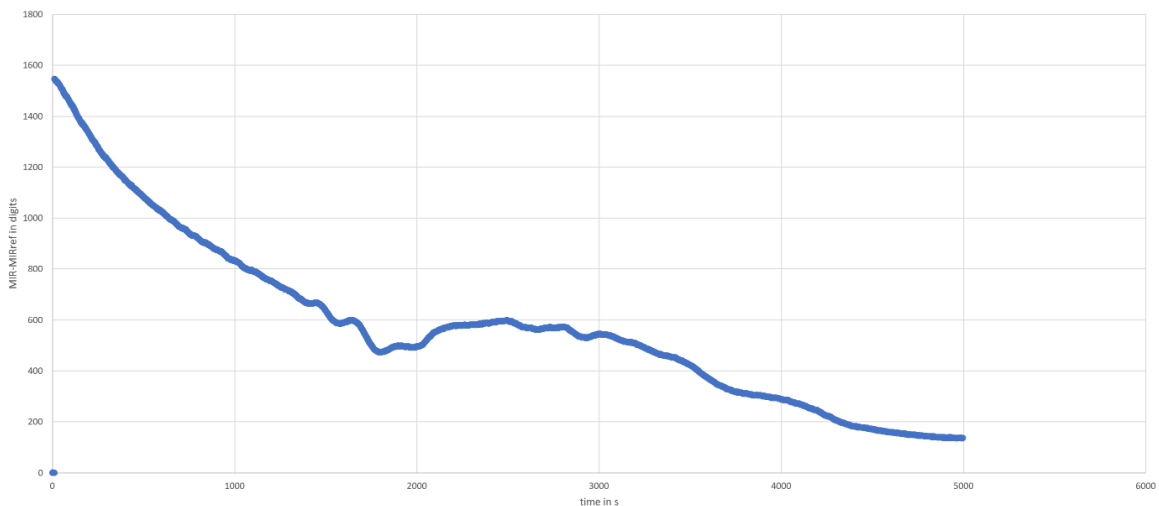
gering < <

> > hoch

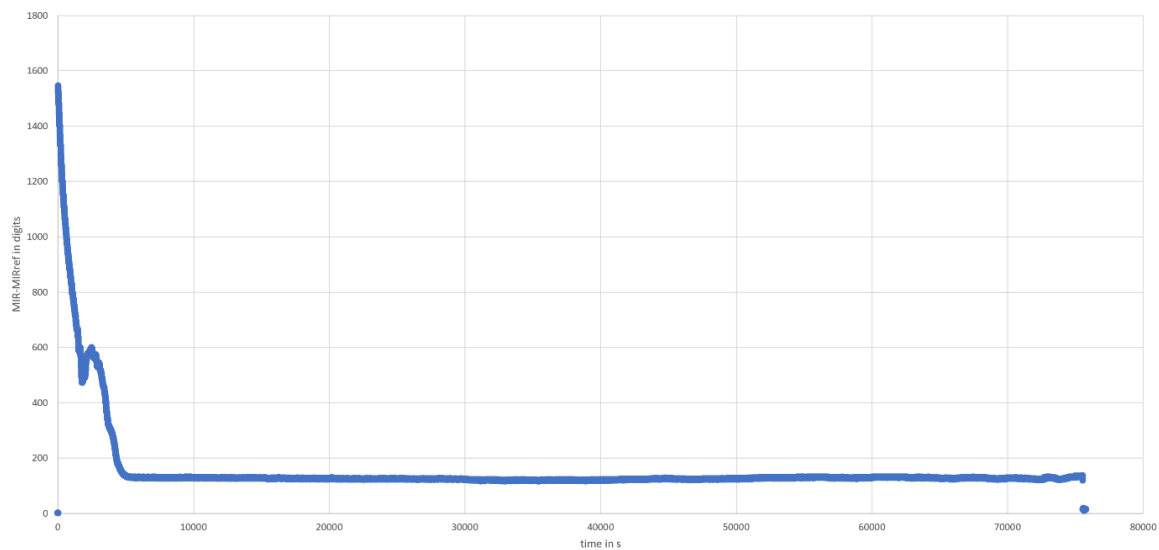


- Tempo di evaporazione: ca. 83 min
- Quantità di residui di olio: circa il 10%

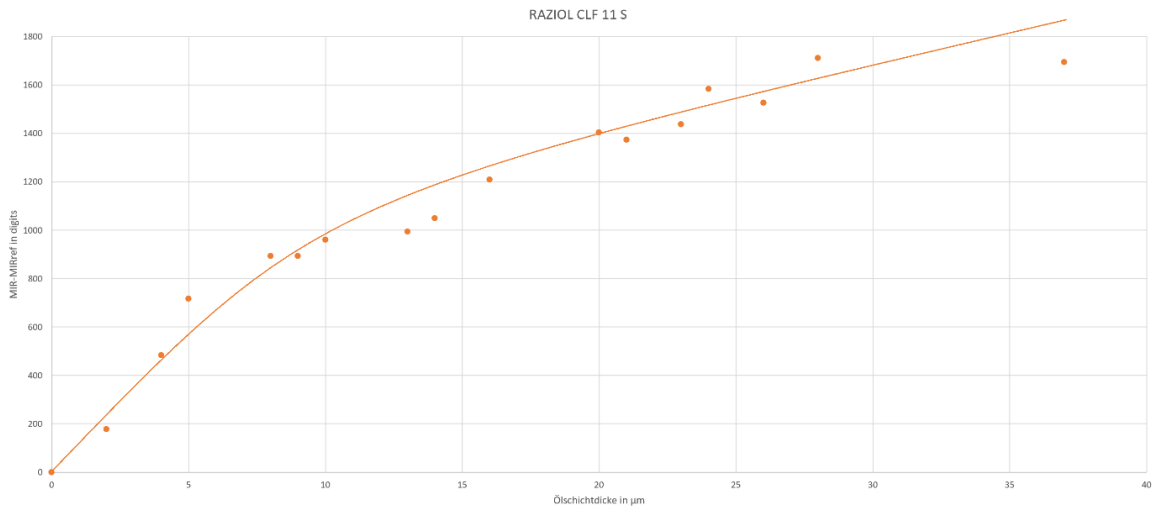
RAZIOL CLF 11 S 1st measurement zoomed



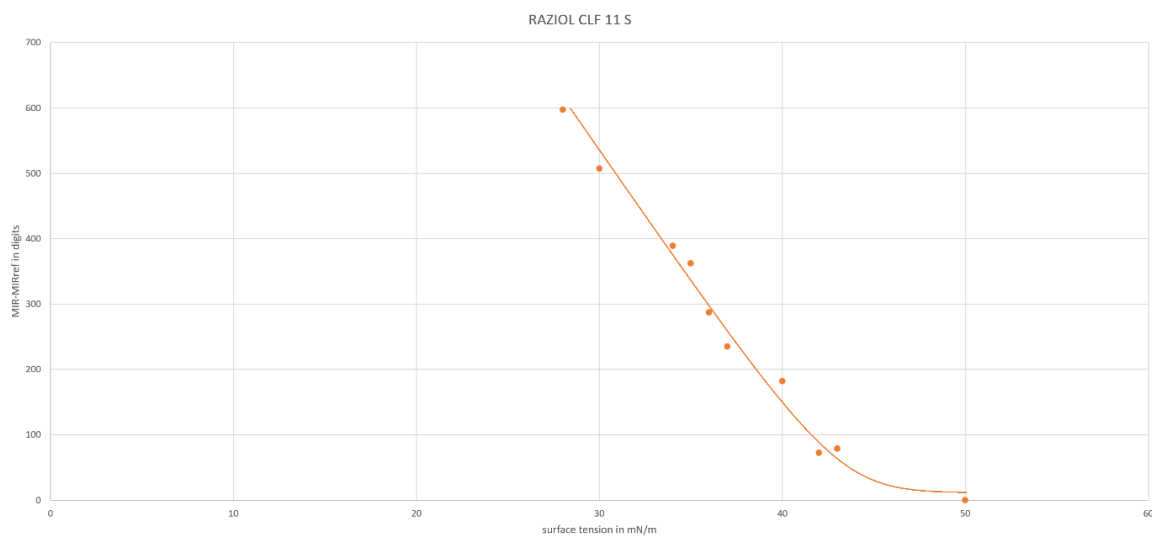
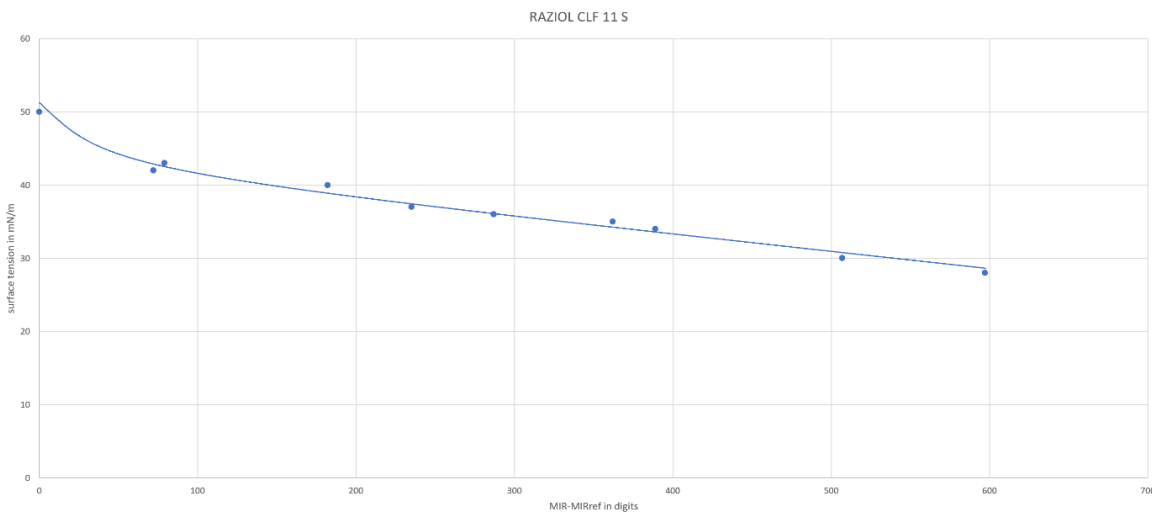
RAZIOL CLF 11 S 1st measurement



6.8.2 Correlazione tra lo spessore dello strato di olio e il segnale normalizzato misurato



6.8.3 Segnale del sensore normalizzato in funzione della tensione superficiale



6.9 Raziol CLF 11 SB

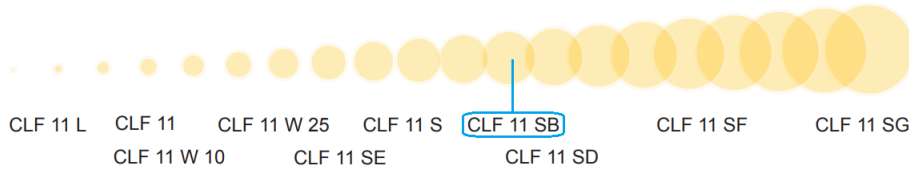
6.9.1 Tempo di evaporazione dei componenti volatili contenuti nell'olio

CLF 11 SB

Rückstandsverhalten

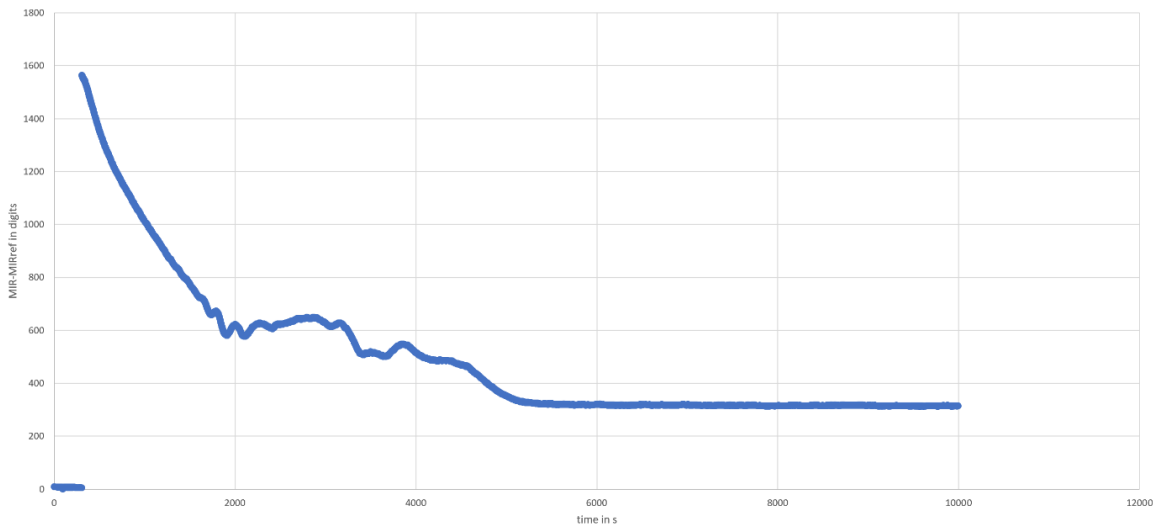
gering < <

> > hoch

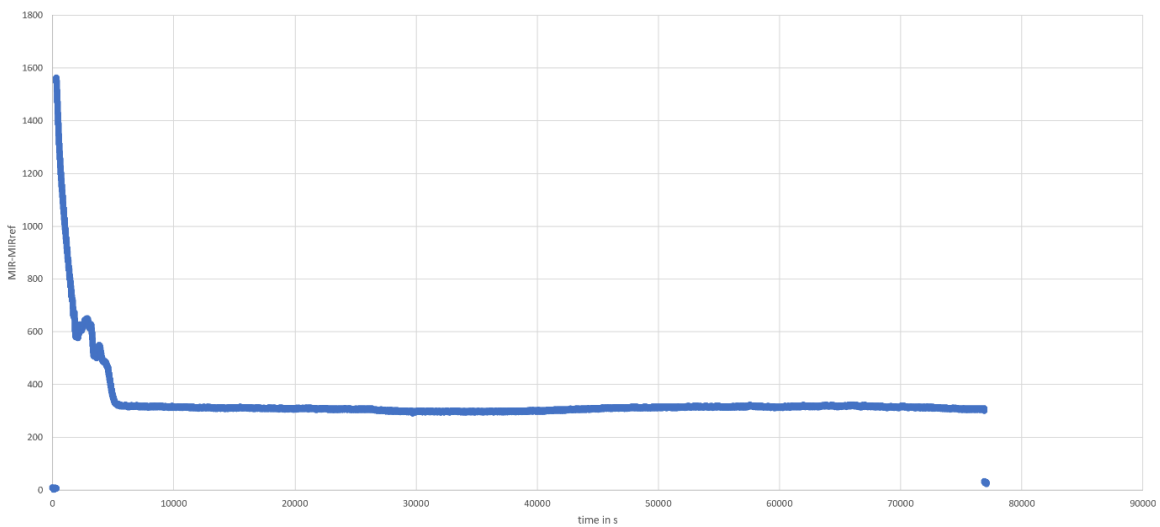


- Tempo di evaporazione: ca. 72 min
- Quantità di residui di olio: circa il 21%

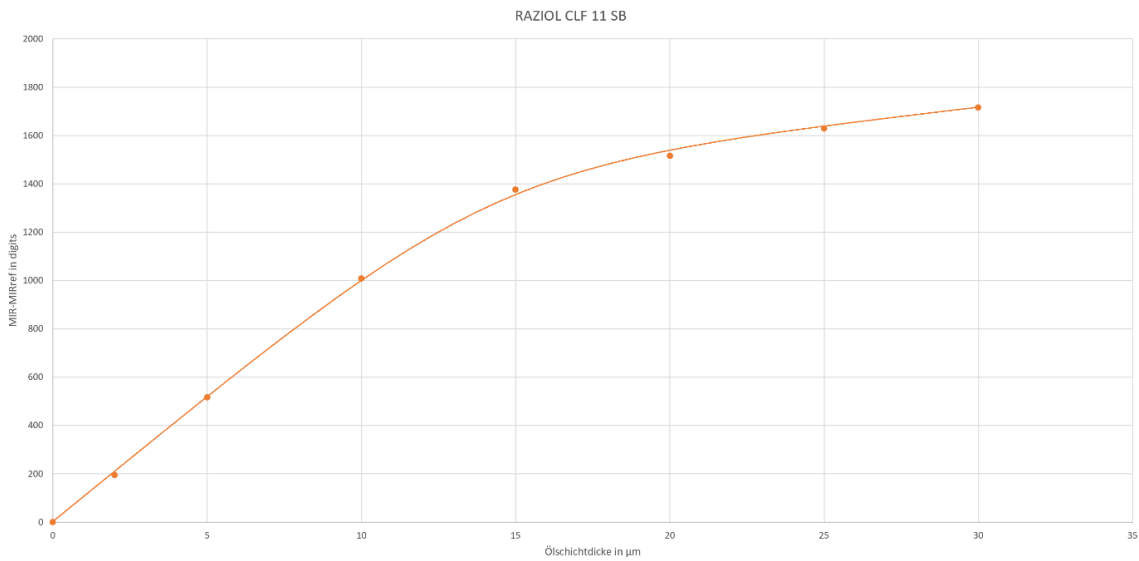
RAZIOL CLF 11 SB 1st measurement zoomed



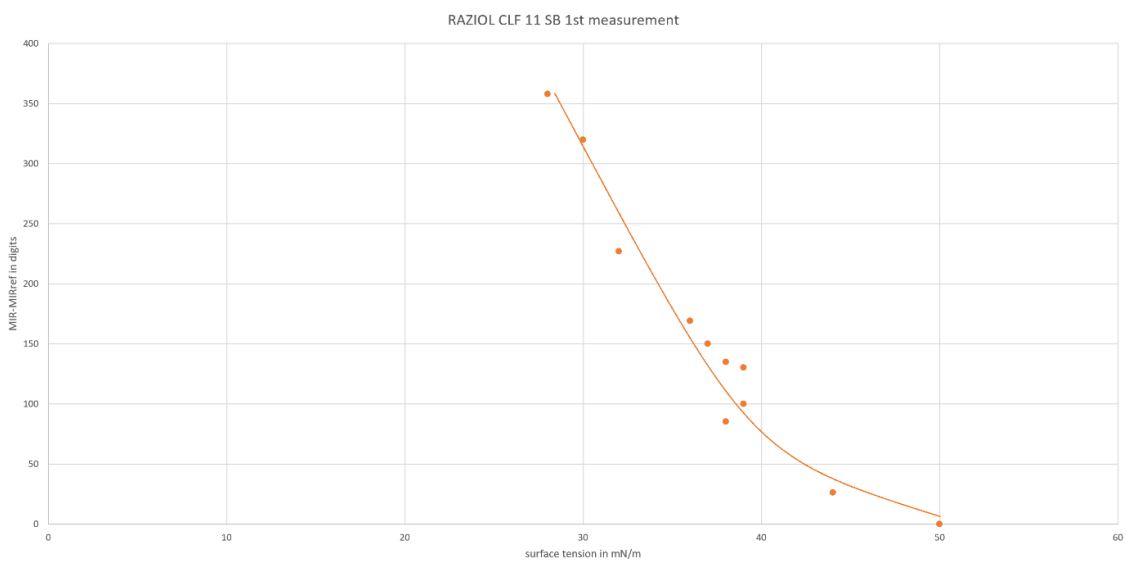
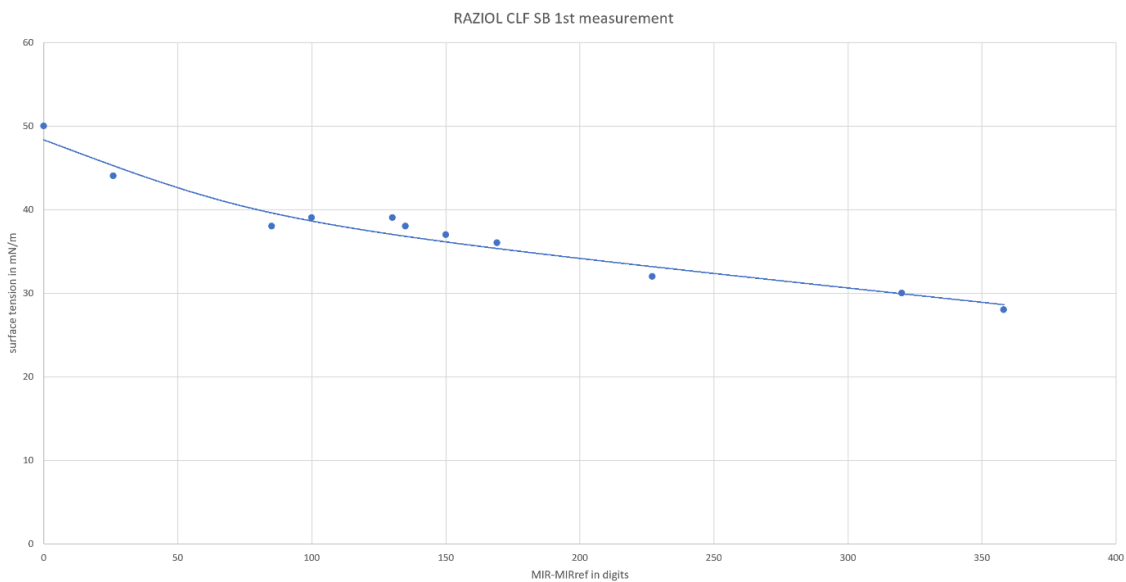
RAZIOL CLF 11 SB 1st measurement



6.9.2 Correlazione tra lo spessore dello strato di olio e il segnale normalizzato misurato



6.9.3 Segnale del sensore normalizzato in funzione della tensione superficiale



6.10 Raziol CLF 11 SD

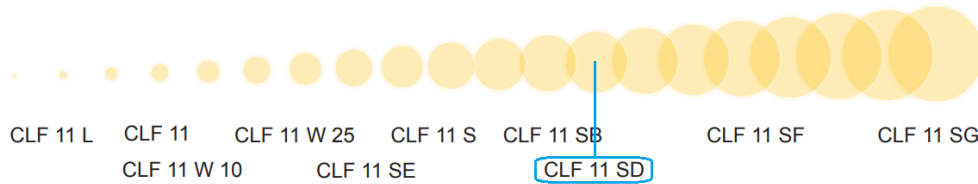
6.10.1 Tempo di evaporazione dei componenti volatili contenuti nell'olio

CLF 11 SD

Rückstandsverhalten

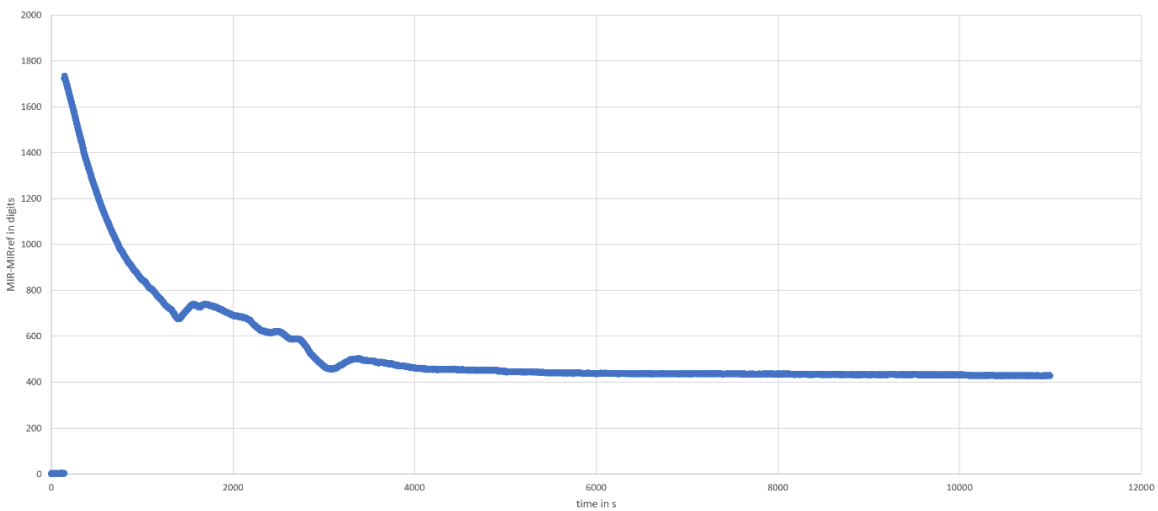
gering < <

> > hoch

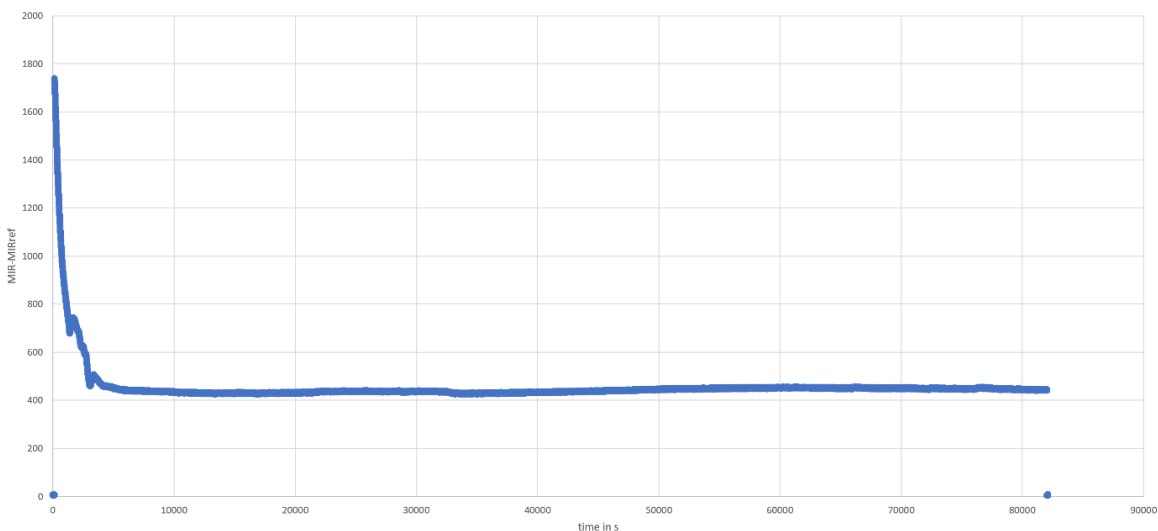


- Tempo di evaporazione: ca. 76 min
- Quantità di residui di olio: circa il 24%

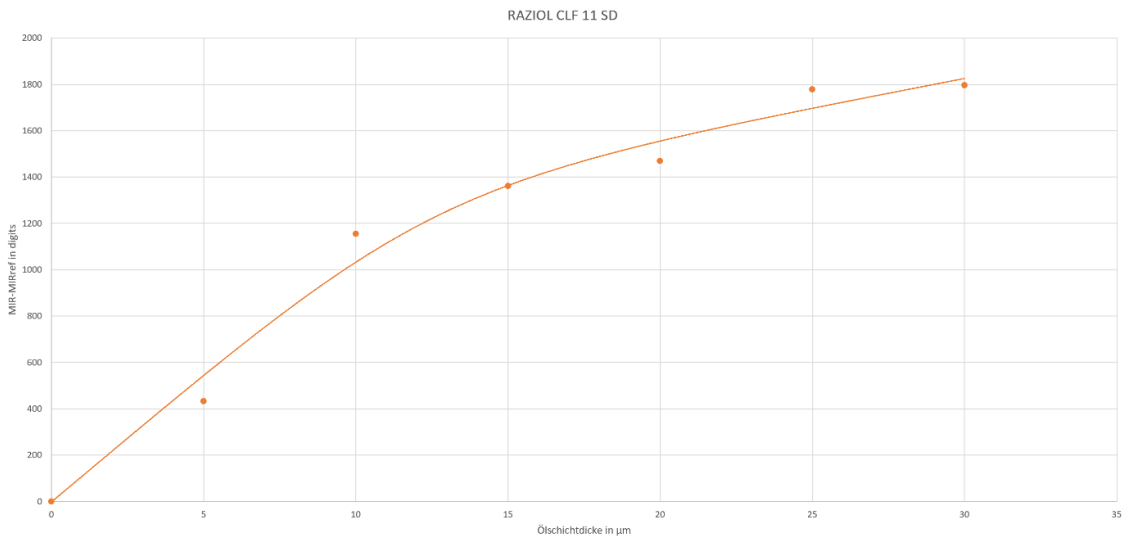
RAZIOL CLF 11 SD 1st measurement zoomed



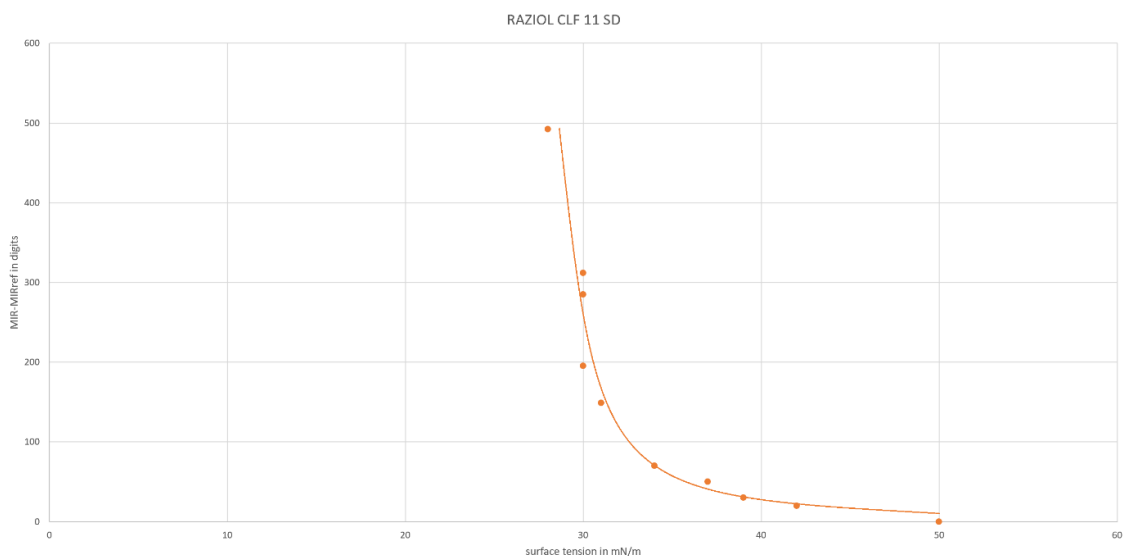
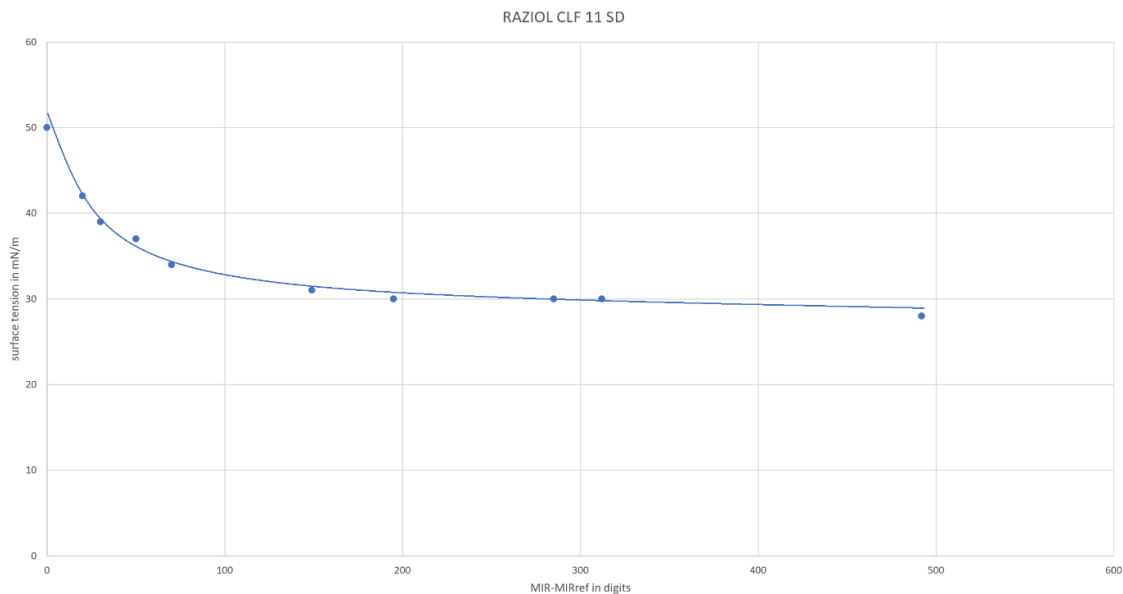
RAZIOL CLF 11 SD 1st measurement



6.10.2 Correlazione tra lo spessore dello strato di olio e il segnale normalizzato misurato



6.10.3 Segnale del sensore normalizzato in funzione della tensione superficiale



6.11 Raziol CLF 11 SF

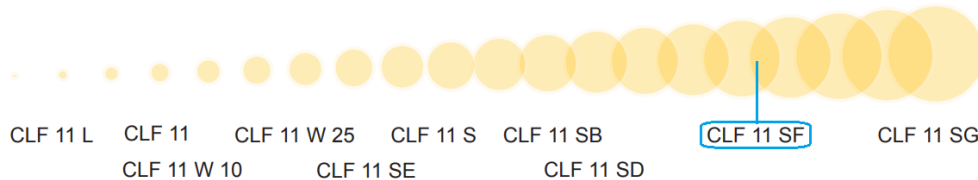
6.11.1 Tempo di evaporazione dei componenti volatili contenuti nell'olio

CLF 11 SF

Rückstandsverhalten

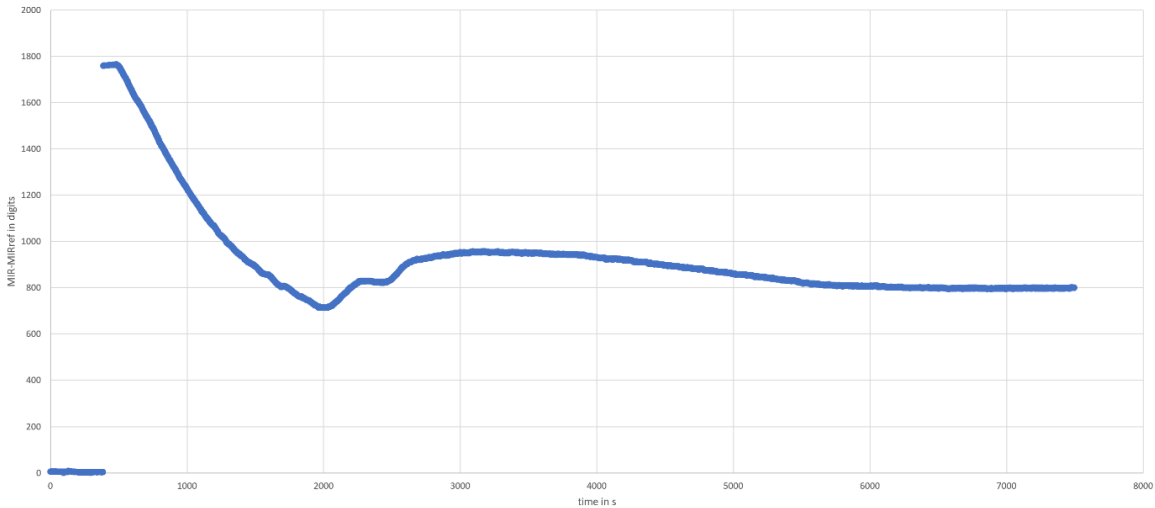
gering < <

> > hoch

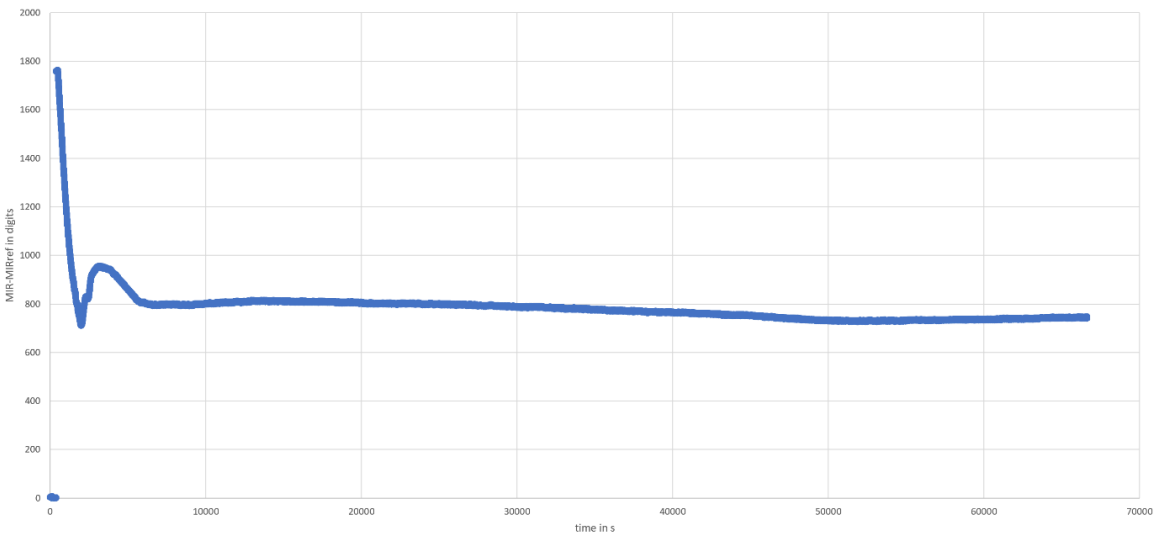


- Tempo di evaporazione: ca. 83 min
- Quantità di residui di olio: circa il 45%

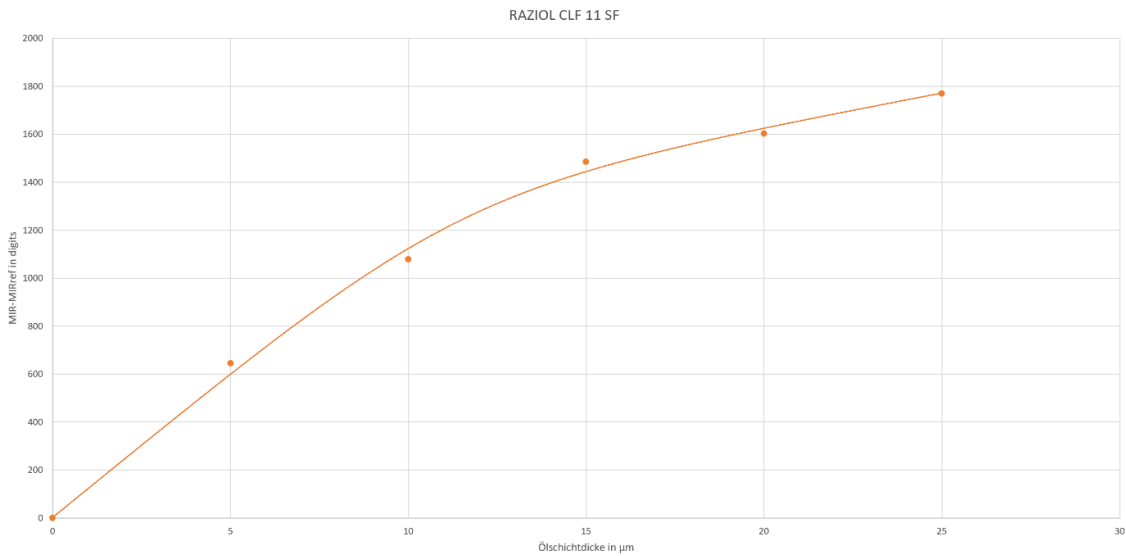
RAZIOL CLF 11 SF 1st measurement zoomed



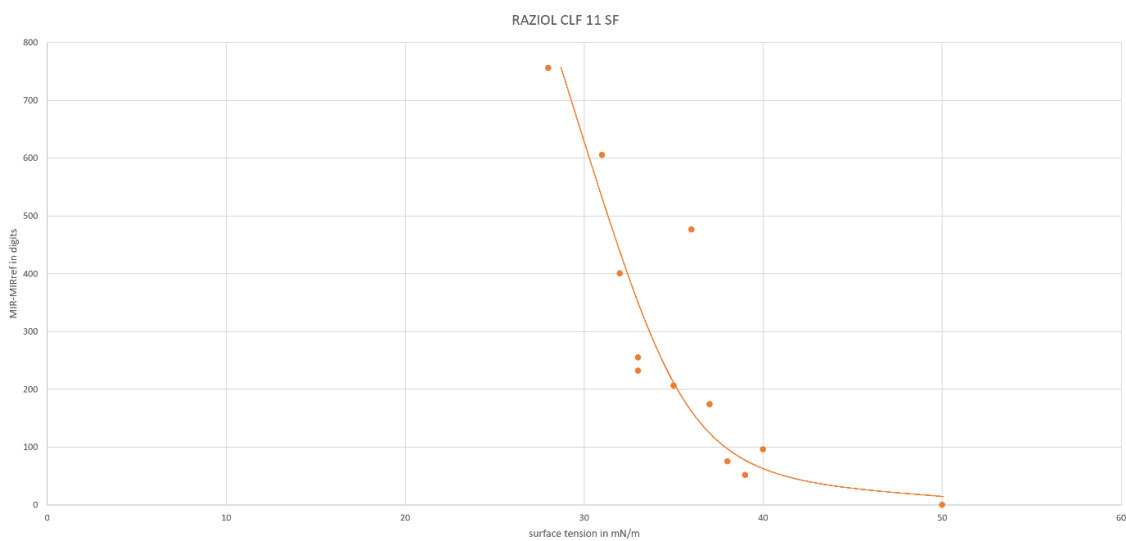
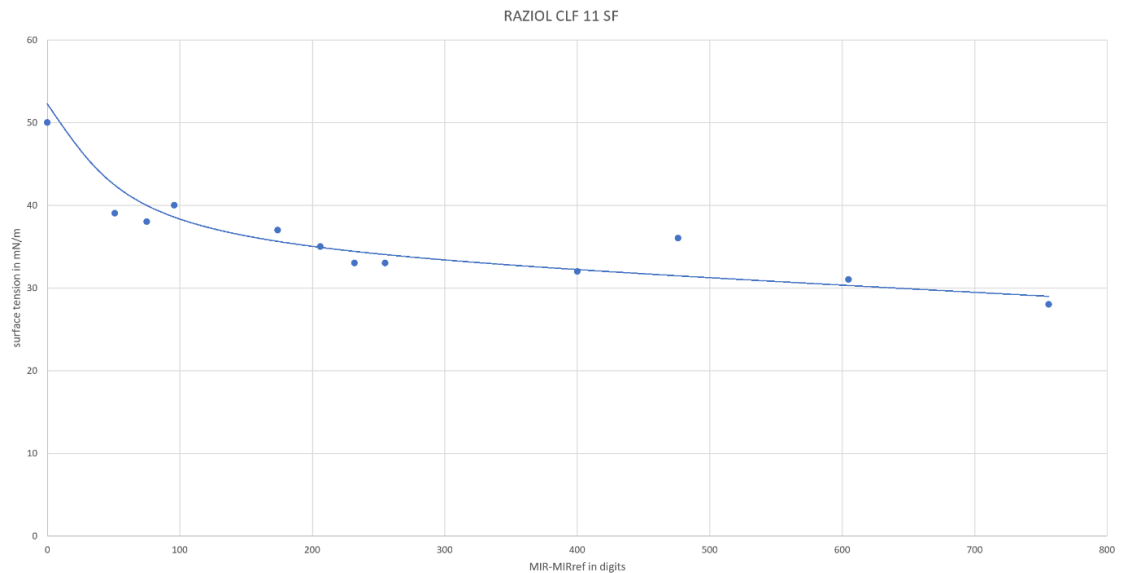
RAZIOL CLF 11 SF 1st measurement



6.11.2 Correlazione tra lo spessore dello strato di olio e il segnale normalizzato misurato



6.11.3 Segnale del sensore normalizzato in funzione della tensione superficiale



6.12 Raziol CLF 11 SG

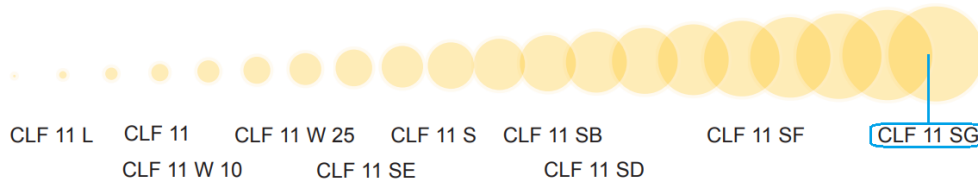
6.12.1 Tempo di evaporazione dei componenti volatili contenuti nell'olio

CLF 11 SG

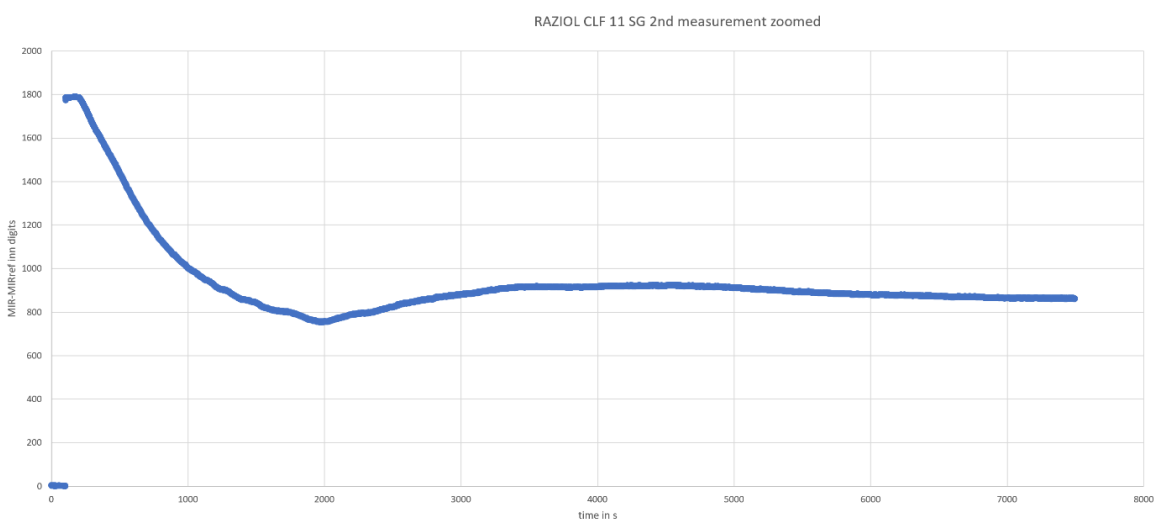
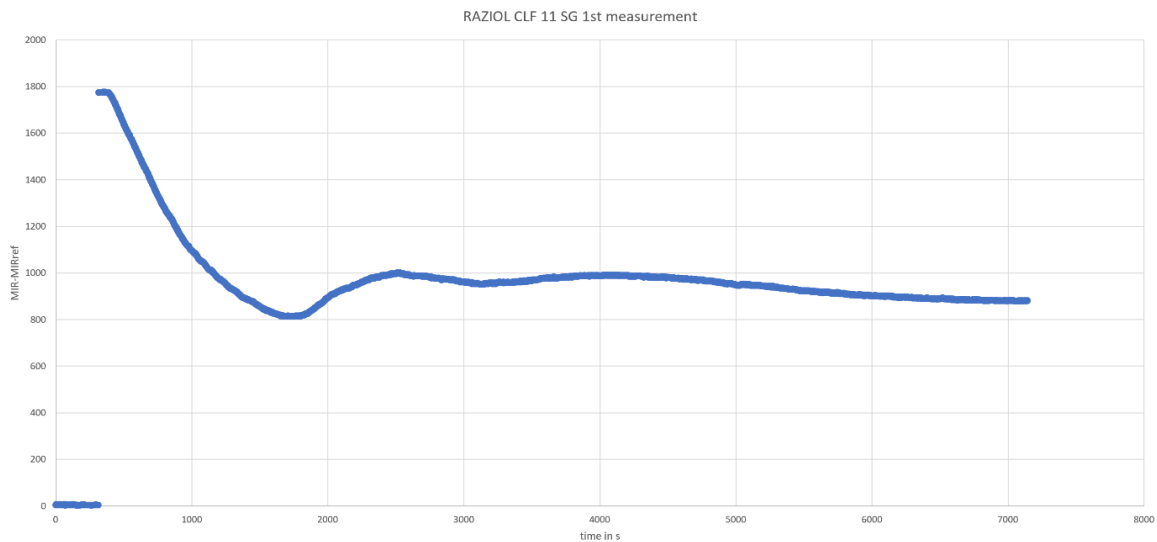
Rückstandsverhalten

gering < <

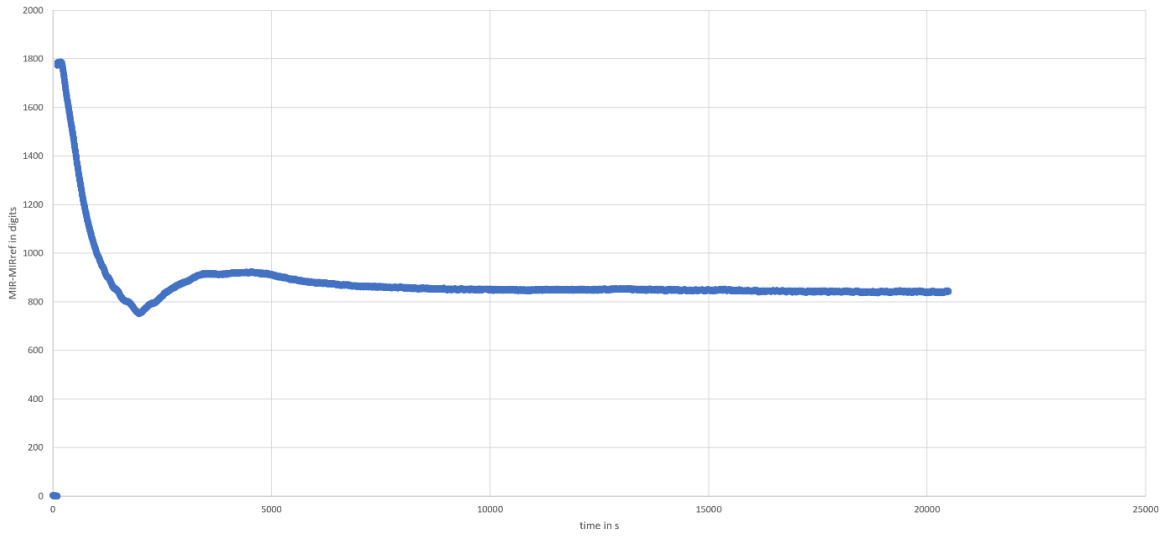
> > hoch



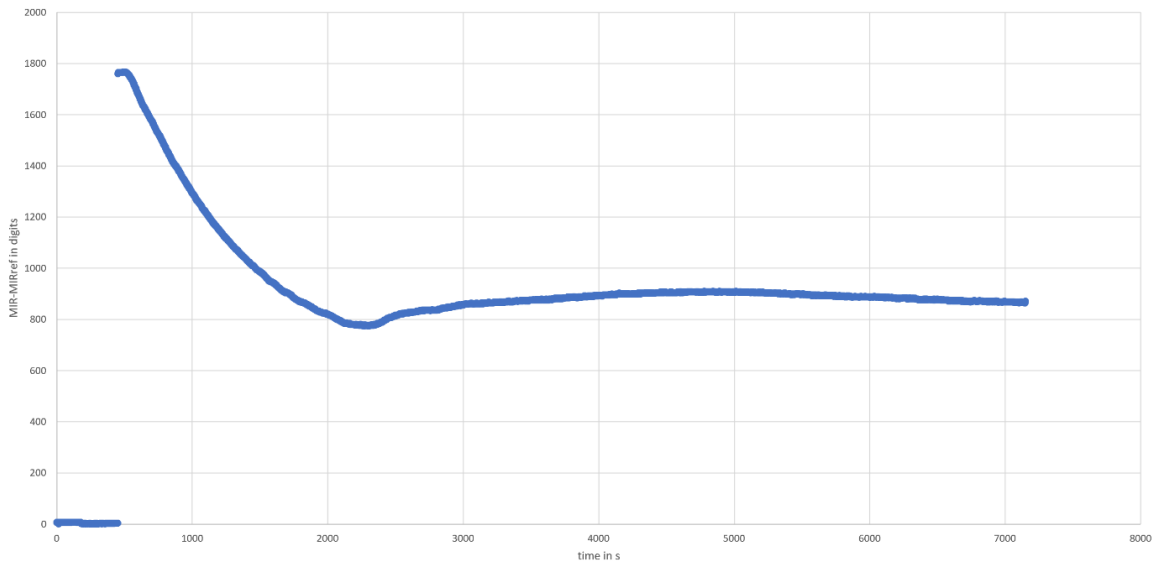
- Tempo di evaporazione: ca. 100 min
- Quantità di residui di olio: circa il 48%



RAZIOL CLF 11 SG 2nd measurement



RAZIOL CLF 11 SG 3rd measurement



6.12.2 Segnale del sensore normalizzato in funzione della tensione superficiale

RAZIOL CLF 11 SG

