

## SPECTRO-M-10-MIR

### Controle em linha de camadas finas de óleo em metal

O método de medição MIR implementado nos sensores SPECTRO-M foi desenvolvido pela Sensor Instruments para detectar camadas orgânicas muito finas em superfícies metálicas. Por isso, os sensores SPECTRO-M são praticamente predestinados para a detecção e inspeção em linha de camadas finas de óleo em metal.

Na prática, é uma questão de controlar o processo de remoção de óleo de peças ou monitorar a homogeneidade de uma camada de óleo. Durante os testes que acompanharam o desenvolvimento, também descobrimos que o sistema pode ser usado para medir muito bem as propriedades de evaporação e os resíduos de óleo de corte em superfícies metálicas sob condições realistas de aplicação (camadas finas).

Para o efeito, também realizamos testes com óleos de perfuração especiais da série CLF da Raziol, cujos resultados estão resumidos na seção 6 do documento.

O presente documento descreve o princípio de sensor do sensor em linha SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) da Sensor Instruments. Outros sensores SPECTRO-M desse tipo com outras geometrias de medição estão em desenvolvimento. Além disso, enquanto desenvolvedores de sensores especiais, também somos capazes de adaptar a tecnologia para aplicações especiais e desejos dos clientes.

Índice:

1	Introdução .....	4
2	Princípio de funcionamento do SPECTRO-M-10-MIR.....	4
3	Métodos de referência para a determinação da tensão superficial.....	9
3.1	Tensão superficial e tensão interfacial.....	9
3.2	Determinação da tensão superficial através da medição do ângulo de contato.....	12
3.3	Determinação da tensão superficial utilizando o método de tinta de teste.....	14
3.4	Método de referência e medição em linha .....	16
4	Áreas de aplicação para os sensores SPECTRO-M.....	16
5	Medições de teste em diferentes óleos .....	17
5.1	Motivação para a medição de camadas de óleo em superfícies metálicas.....	17
5.2	Método de tinta de teste – um método de medição de referência amplamente utilizado para o controle de óleo residual .....	19
5.3	Configuração de medição e metodologia.....	20
5.4	Lista dos tipos de óleo testados .....	22
5.5	Controle de resíduos de óleo com o SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2).....	23
5.5.1	<i>Sensor MIR e aplicação .....</i>	<i>23</i>
5.5.2	<i>Comparação das sensibilidades dos diferentes óleos aquando da mesma espessura de camada de óleo...24</i>	<i>24</i>
5.5.3	<i>Dependência do sinal de medição MIR no tempo.....</i>	<i>25</i>
5.5.4	<i>Correlação entre o sinal MIR e a tensão superficial medida por tipo de óleo .....</i>	<i>25</i>
5.5.5	<i>Comparação dos valores de medição MIR em função da tensão superficial.....</i>	<i>30</i>
5.5.6	<i>Comparação do método MIR com sensores UVA e UVC .....</i>	<i>31</i>
5.5.7	<i>Resumo do controle de resíduos de óleo.....</i>	<i>32</i>
5.6	Controle em linha da espessura da camada de óleo .....	33
5.7	Medição da evaporação de aplicações de óleo .....	36
6	Medições de teste na série CLF 11 .....	38
6.1	Metodologia de teste e método de referência .....	38
6.2	Especificações do fabricante para a série CLF 11 .....	39
6.3	Raziol CLF 11 L.....	42
6.3.1	<i>Tempo de evaporação dos componentes voláteis contidos no óleo .....</i>	<i>42</i>
6.3.2	<i>Correlação entre a espessura da camada de óleo e o sinal normalizado medido .....</i>	<i>43</i>
6.3.3	<i>Sinal normalizado do sensor em função da tensão superficial .....</i>	<i>44</i>
6.4	Raziol CLF 11 .....	45
6.4.1	<i>Tempo de evaporação dos componentes voláteis contidos no óleo .....</i>	<i>45</i>
6.4.2	<i>Correlação entre a espessura da camada de óleo e o sinal normalizado medido .....</i>	<i>45</i>
6.4.3	<i>Sinal normalizado do sensor em função da tensão superficial .....</i>	<i>46</i>
6.5	Raziol CLF 11 W 10.....	47
6.5.1	<i>Tempo de evaporação dos componentes voláteis contidos no óleo .....</i>	<i>47</i>
6.5.2	<i>Correlação entre a espessura da camada de óleo e o sinal normalizado medido .....</i>	<i>48</i>
6.5.3	<i>Sinal normalizado do sensor em função da tensão superficial .....</i>	<i>48</i>
6.6	Raziol CLF 11 W 25.....	49
6.6.1	<i>Tempo de evaporação dos componentes voláteis contidos no óleo .....</i>	<i>49</i>
6.6.2	<i>Correlação entre a espessura da camada de óleo e o sinal normalizado medido .....</i>	<i>50</i>
6.6.3	<i>Sinal normalizado do sensor em função da tensão superficial .....</i>	<i>50</i>

6.7	Raziol CLF 11 SE .....	51
6.7.1	<i>Tempo de evaporação dos componentes voláteis contidos no óleo .....</i>	<i>51</i>
6.7.2	<i>Correlação entre a espessura da camada de óleo e o sinal normalizado medido .....</i>	<i>52</i>
6.7.3	<i>Sinal normalizado do sensor em função da tensão superficial .....</i>	<i>52</i>
6.8	Raziol CLF 11 S.....	53
6.8.1	<i>Tempo de evaporação dos componentes voláteis contidos no óleo .....</i>	<i>53</i>
6.8.2	<i>Correlação entre a espessura da camada de óleo e o sinal normalizado medido .....</i>	<i>54</i>
6.8.3	<i>Sinal normalizado do sensor em função da tensão superficial .....</i>	<i>54</i>
6.9	Raziol CLF 11 SB .....	55
6.9.1	<i>Tempo de evaporação dos componentes voláteis contidos no óleo .....</i>	<i>55</i>
6.9.2	<i>Correlação entre a espessura da camada de óleo e o sinal normalizado medido .....</i>	<i>56</i>
6.9.3	<i>Sinal normalizado do sensor em função da tensão superficial .....</i>	<i>56</i>
6.10	Raziol CLF 11 SD.....	57
6.10.1	<i>Tempo de evaporação dos componentes voláteis contidos no óleo .....</i>	<i>57</i>
6.10.2	<i>Correlação entre a espessura da camada de óleo e o sinal normalizado medido .....</i>	<i>58</i>
6.10.3	<i>Sinal normalizado do sensor em função da tensão superficial .....</i>	<i>58</i>
6.11	Raziol CLF 11 SF .....	59
6.11.1	<i>Tempo de evaporação dos componentes voláteis contidos no óleo .....</i>	<i>59</i>
6.11.2	<i>Correlação entre a espessura da camada de óleo e o sinal normalizado medido .....</i>	<i>60</i>
6.11.3	<i>Sinal normalizado do sensor em função da tensão superficial .....</i>	<i>60</i>
6.12	Raziol CLF 11 SG.....	61
6.12.1	<i>Tempo de evaporação dos componentes voláteis contidos no óleo .....</i>	<i>61</i>
6.12.2	<i>Sinal normalizado do sensor em função da tensão superficial .....</i>	<i>62</i>

## 1 Introdução

A série SPECTRO-M se baseia em um princípio de medição conhecido pela espectroscopia de vibração ou absorção.

No sentido mais amplo, a espectroscopia vibracional é a análise de materiais por irradiação com luz de diferentes comprimentos de onda (energia). A luz irradiada é parcialmente convertida em vibrações moleculares (absorvidas) no material, e a radiação reemissora é registrada sob a forma de espectros. A partir dos espectros vibracionais, é possível obter informações sobre a estrutura molecular das substâncias orgânicas. Isso significa que eles podem ser usados para determinar e controlar as propriedades químicas e físicas.

Na espectroscopia IR, os graus vibracionais de liberdade das moléculas conhecidos da física quântica são estimulados pela luz de infravermelhos. As faixas de absorção são observadas no espectro IR. As faixas das vibrações fundamentais estão localizadas no infravermelho médio (MIR, ~ 2500 nm - 16000 nm), aquelas das oscilações de combinação ou superiores são encontradas no infravermelho próximo (NIR, ~ 800 nm - 2500 nm). As faixas de absorção NIR são, em sua maioria, estruturas largas, mutuamente sobrepostas, enquanto a absorção MIR é mapeada em bandas de frequência estreitas.

A absorção das faixas NIR é em ordens de magnitude inferior à das vibrações fundamentais, mas fornece informações suficientes para classificar os polímeros. Os processos de absorção NIR são utilizados hoje em dia na reciclagem de plásticos. A absorção MIR é bem adequada para a caracterização de camadas orgânicas finas sobre metais.

A família SPECTRO-M da Sensor Instruments consiste em sensores em linha que avaliam os diferentes comportamentos de absorção de materiais orgânicos no MIR, a fim de obter informações qualitativas e quantitativas sobre as camadas orgânicas dos metais no processo de produção.

Um domínio interessante para o teste de camadas orgânicas em metais é o controle da camada de óleo ou a medição da camada de óleo. No processamento de metais, são utilizados óleos especiais que otimizam o processo de perfuração ou estiragem profunda em si, mas que devem ser removidos novamente sem deixar qualquer resíduo após o processamento.

O teste em linha da lubrificação de peças metálicas ou a remoção desta lubrificação, é um desafio metrológico que também se tornou cada vez mais complexo com camadas cada vez mais finas e receitas e funções de óleo mais específicas.

A avaliação das superfícies é frequentemente feita testando a tensão superficial ou interfacial. Dois métodos comuns para medir a tensão superficial são o método de tinta de teste e a medição do ângulo de contato, que é, por isso, brevemente discutido neste documento

Por fim, incluímos um resumo de nossos testes de óleos de perfuração e estiragem com o SPECTRO-M-10-MIR e comparamos os resultados com o método de tinta de teste vermelha. Isto envolve a detecção dos resíduos de óleo mais pequenos ou o registro metrológico de diferentes espessuras de camadas. Além disso, existem óleos que evaporam em uma janela de tempo definida, mas deixam mais ou menos resíduos na superfície. A medição reprodutível da propriedade de evaporação deve ser de interesse para os fabricantes de tais produtos com óleo.

## 2 Princípio de funcionamento do SPECTRO-M-10-MIR

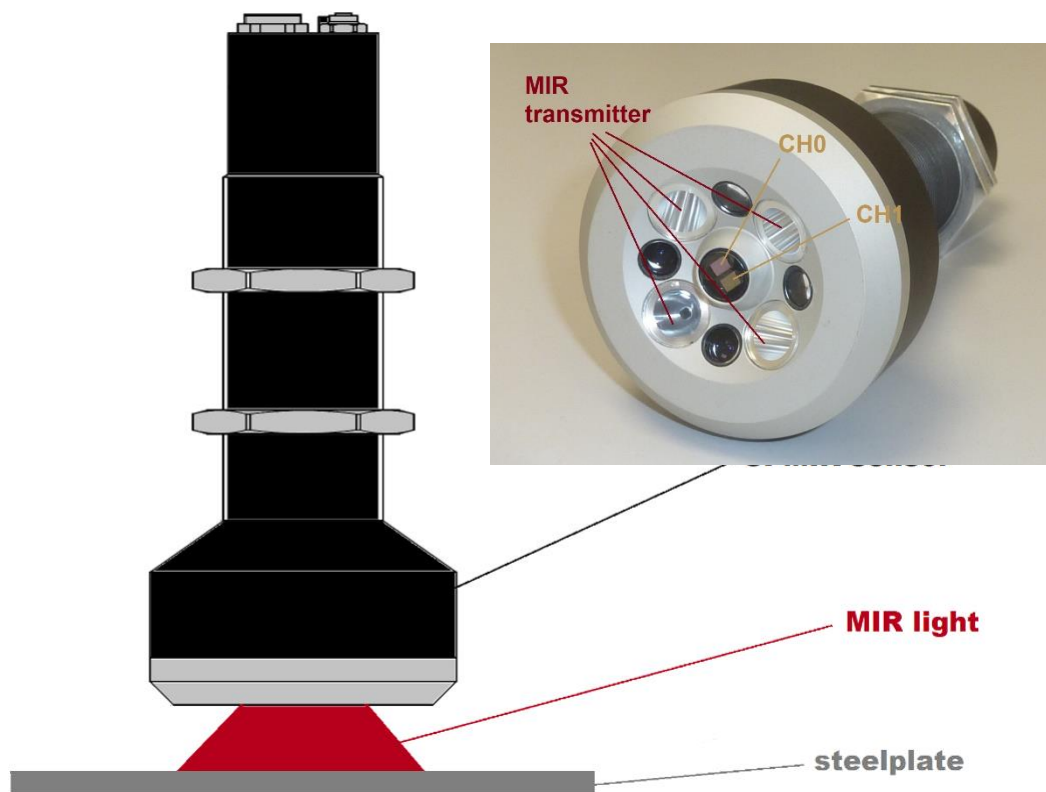
Com um sistema de medição em linha, a capacidade de medição sem contato é de importância primordial. Naturalmente, o tempo necessário para determinar os valores de medição também deve ser capaz de acompanhar o tempo de alimentação dos componentes. Além disso, o sistema de medição deve ser robusto e compacto, assim como deve dispor de várias interfaces para que os dados de medição possam ser alimentados para o sistema de controle de nível superior ou para um CLP em tempo real.

O **SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2)** é um sensor equipado com uma iluminação de banda relativamente larga para a faixa MIR. No lado receptor, duas janelas de medição (faixas de comprimento de onda) estão disponíveis, que são comparadas uma com a outra de forma normalizada. Uma dessas janelas serve como referência e se

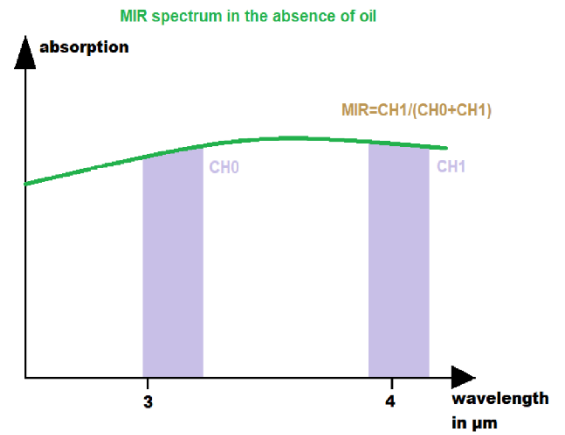
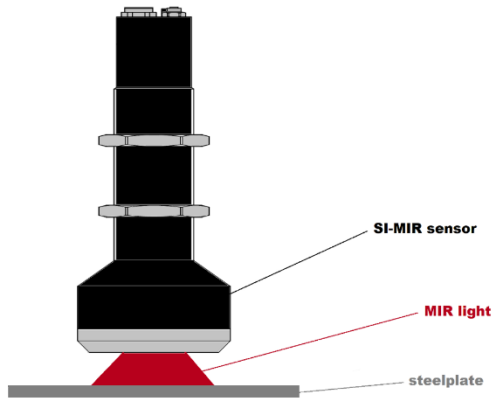
comporta neutralmente em relação aos óleos na primeira aproximação, enquanto na segunda janela pode ser detectada uma absorção causada pelo óleo. Com a ajuda do software Windows® **SPECTRO MIR Scope V1.0** fornecido, podem ser realizadas medições de teste e salvar os valores de medição, para além da parametrização do sensor. Para o funcionamento em linha existe um software de monitoramento, com o qual os valores de medição atuais podem ser exibidos em uma tela, ou os dados de medição podem ser registrados em arquivos ASCII.

Acompanhando o desenvolvimento do SPECTRO-M-MIR, uma série de óleos de perfuração e estiragem disponíveis comercialmente foram testados com nossos sensores óticos. Também analisamos e comparamos os efeitos de medição na faixa UVC (255 nm, SPECTRO-1-UVC), os efeitos de fluorescência UVA (SPECTRO-3-UV) e os de absorção na faixa MIR (5  $\mu\text{m}$ ).

Todos os tipos de óleos de perfuração e estiragem testados até o momento puderam ser medidos usando o método MIR. Para o SPECTRO-M-10-MIR, uma janela de medição entre 3  $\mu\text{m}$  e 4  $\mu\text{m}$  emergiu como a faixa espectral de trabalho ideal. O método comparativo de duas faixas espectrais fornece resultados de medição MIR normalizados, nos quais as propriedades de reflexão da superfície de contato já podem ser compensadas em grande parte. Como os diferentes óleos têm diferentes graus de absorção de MIR, é necessário calibrar a superfície metálica livre de óleo (MIRreff). Se se quiser converter os valores de medição nas unidades de um sistema de referência, por exemplo, para que os valores de tensão superficial sejam emitidos como um valor de medição em mN/m usando o método de tinta de teste, uma calibração de referência correspondente (CONVERSION) deve ser criada uma vez. Os seguintes esboços mostram o principal modo de operação do sistema de sensores MIR:

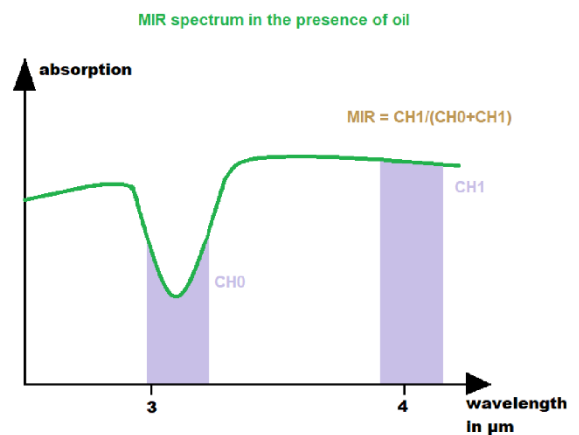
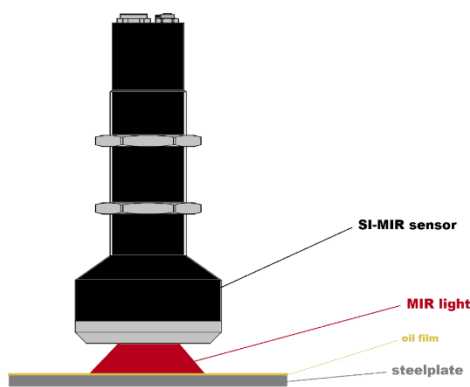


Os transmissores MIR de banda larga cobrem a faixa espectral necessária para as duas janelas de medição CH0 e CH1. Uma parte da luz refletida de volta da superfície metálica atinge as duas janelas de medição; uma janela de medição (CH0) reage à presença de uma película de óleo, enquanto que a outra janela de medição (CH1) quase não é afetada pela presença de uma película de óleo (janela de referência). Por meio de uma avaliação padronizada, obtém-se um valor medido independente da intensidade:

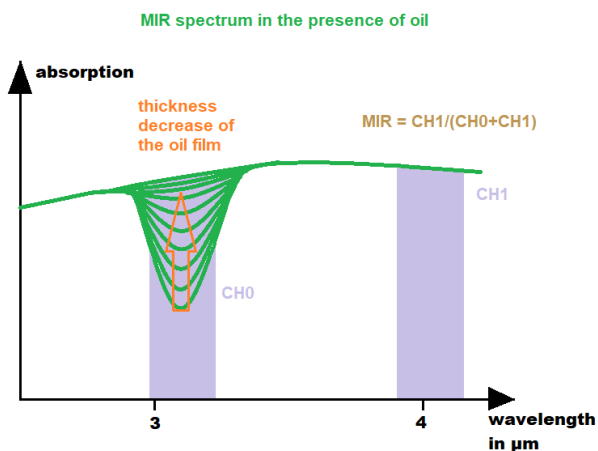


$$\text{MIR} = \text{CH1} / (\text{CH0} + \text{CH1})$$

No esboço acima não se encontra qualquer película de óleo sobre a superfície metálica. Ambas as janelas de medição fornecem aproximadamente o mesmo nível de sinal (valor padronizado = MIRref). No esboço seguinte, entretanto, o nível de sinal da janela de medição CH0 colapsa verdadeiramente, o que leva a uma mudança do valor padrão MIR.



Quanto mais espessa for a camada de óleo, mais grave será a queda do sinal na janela de medição CH0:

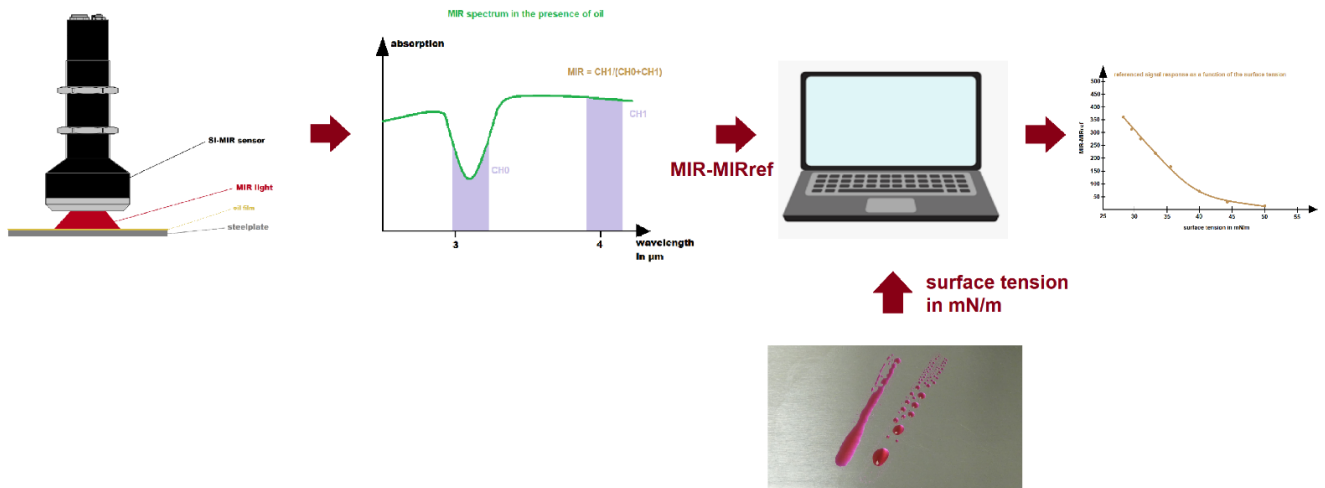


Um valor padronizado,  $\text{MIR} = \text{CH1} / (\text{CH0} + \text{CH1})$ , pode ser calculado a partir dos dois sinais, que mapeia ambos os canais. Este valor padrão é inicialmente um valor proprietário determinado pelos parâmetros do sensor, o óleo e a superfície metálica. Por meio do software do sensor, entretanto, é possível correlacionar o valor padrão com

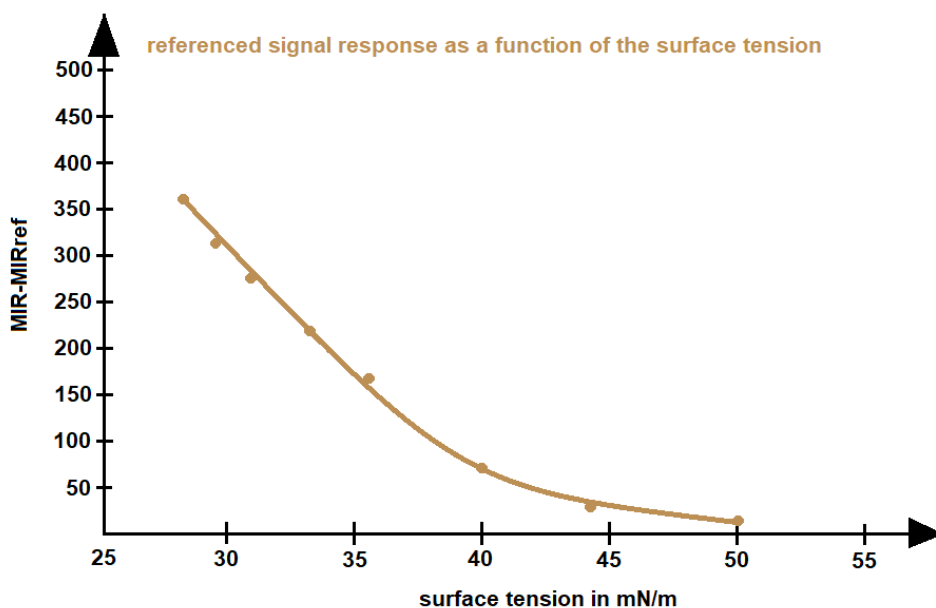
um método de medição de referência e produzi-lo como um "valor de medição calibrado", no formato de referência.

**Exemplo: Método de tinta vermelha (mN/m) como exemplo de calibração de um sistema de referência:**

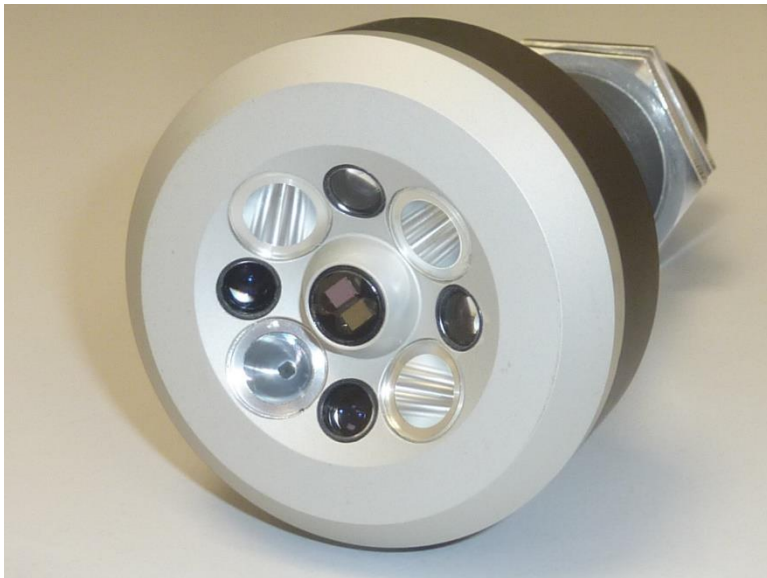
Para que o valor da tensão superficial da superfície da camada metálica de óleo possa ser transferido para a interface do sensor em vez do valor padronizado (MIR), a referência ao método de tinta de teste deve ser primeiramente estabelecida (calibração):



Para isso, uma das peças metálicas a serem testadas é primeiro desengraxada e depois o valor de referência padronizado (MIRref) é determinado por meio do sensor MIR e o valor de tensão superficial correspondente em mN/m é determinado com a ajuda do método de tinta de teste. A seguir, uma peça metálica desengraxada é submetida ao mesmo procedimento, com a diferença de que para cada procedimento (valor de medição com presença de óleo: MIR) uma camada de óleo cada vez mais pronunciada é aplicada homogeneamente ao componente desengraxado (a experiência mostra que a espessura da camada de óleo varia entre 100 nm e 5 µm). Os valores de medição (MIR-MIRref) são então resumidos em uma tabela e essa tabela é então usada na memória não volátil do sensor como uma tabela de conversão. Em forma gráfica, resultam as seguintes relações:



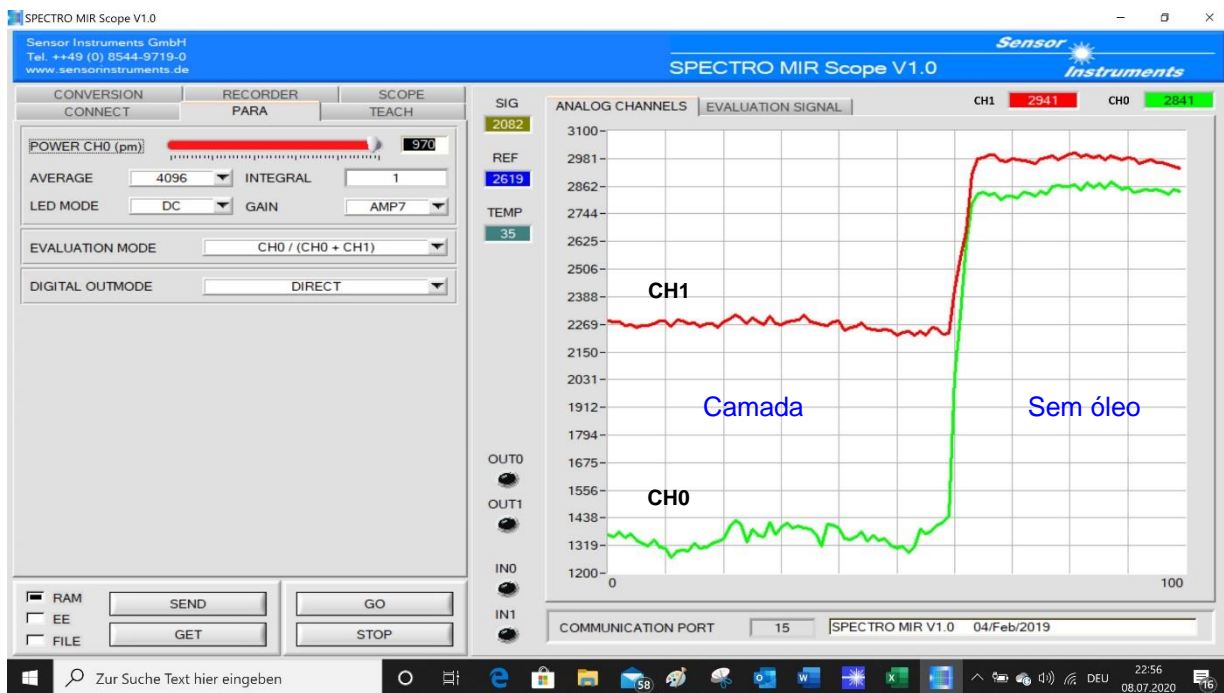
Um distanciador acoplável está disponível para medição offline na produção ou no laboratório. Assim, a medição ocorre continuamente. A distância de trabalho dos sensores à superfície a ser medida é de 10 mm.



SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) - Cabeça do sensor



Aplicação offline para medições de laboratório



SPECTRO MIR Scope - Software Windows® para configuração de sensores, medições de teste e calibração do sensor para um método de medição de referência.



### 3 Métodos de referência para a determinação da tensão superficial

#### 3.1 Tensão superficial e tensão interfacial

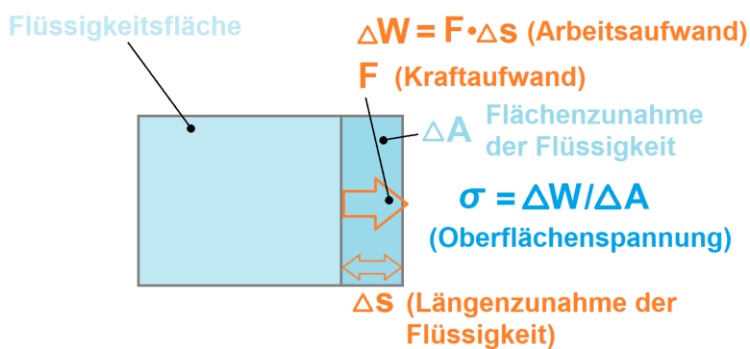
Por que o conhecimento sobre a tensão superficial das superfícies metálicas é tão importante na prática? Aqui está um exemplo: O valor da tensão superficial da superfície metálica deve ser verificado antes de aplicar vernizes de cor em uma peça metálica. Pois, se isto estiver abaixo do valor da tensão superficial do pigmento, o verniz de cor rolaria da superfície metálica.

A situação é semelhante com a aplicação de colas ou outros tipos de revestimento. A adesão suficiente só pode ser obtida se a tensão superficial da superfície metálica for maior do que a da cola ou do material de revestimento.

#### Como se define a tensão superficial?

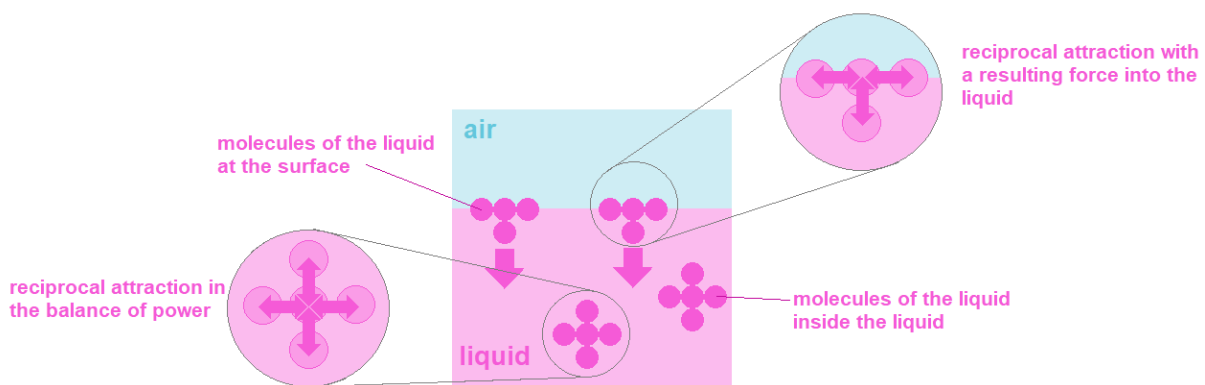
Para aumentar a superfície de um líquido é necessário um determinado esforço. É necessário, portanto, um determinado volume de trabalho. A tensão superficial designa a relação do trabalho que tem que ser realizado com o ganho superficial (aumento da área superficial do líquido) que resulta do trabalho realizado:

$$\sigma = \Delta W / \Delta A \text{ (SI – Unidade: N/m)}$$



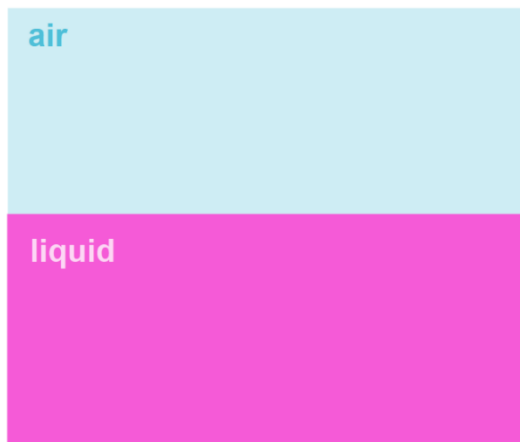
Como resultado da tensão superficial, os líquidos se esforçam para minimizar sua área de superfície, o que resulta, em última análise, em uma superfície esférica do respectivo líquido (uma esfera tem a menor área superficial de todas as formas do corpo do mesmo volume).

#### O que é tensão interfacial?

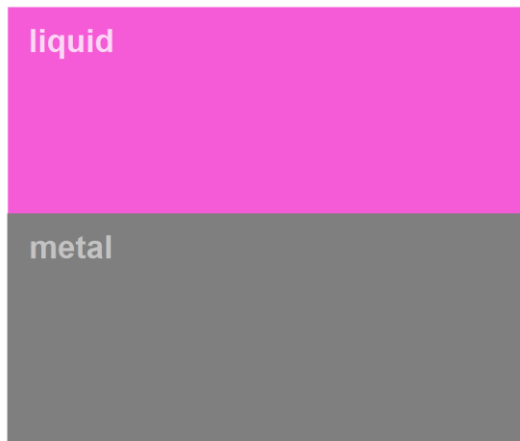


Dentro de um líquido, todas as moléculas são igualmente cercadas por moléculas vizinhas, de modo que as forças mútuas de atração são equilibradas. Na borda do líquido (superfície limite), por outro lado, uma força resultante é produzida, devido à falta de divisão simétrica das forças mútuas de atração, que aponta para o interior do líquido.

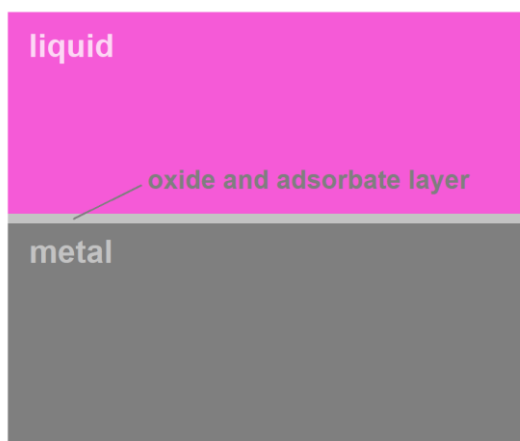
A tensão superficial é, portanto, também denominada de tensão interfacial. O termo tensão interfacial é usado para descrever a transição de um líquido para um substrato, por exemplo, uma superfície metálica, enquanto que a transição do líquido para o ar é denominada de tensão superficial.



Transição ar/líquido: aqui, é usado o termo tensão superficial



Transição líquido/metal: os processos na transição são designados de tensão interfacial



Entretanto, deve ser observado que essa transição (líquido/metal) se trata, estritamente falando, de uma transição de uma camada de óxido metálico ou uma camada de adsorbato (dióxido de carbono e hidrocarbonetos na superfície do metal) em direção ao líquido.

### O que é umedecimento de superfícies metálicas?

Uma medida para umedecer uma superfície metálica por um líquido aplicado (por exemplo, em forma de gota, mas também como um pincel) é o ângulo de contato  $\Theta$ . O umedecimento da superfície metálica aumenta com a diminuição do ângulo de contato  $\Theta$ .

O processo de umedecimento é descrito pela equação de Young:

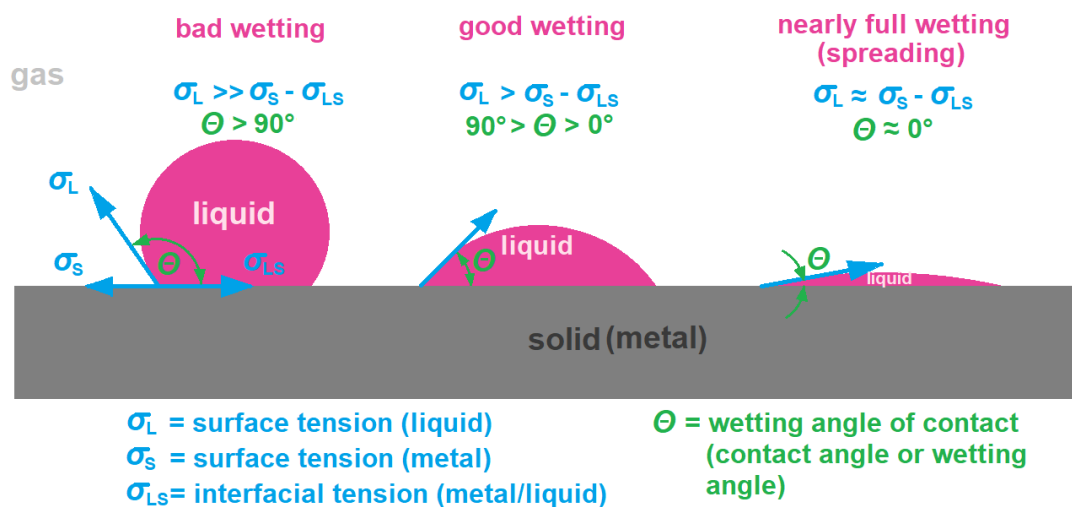
$$\cos \Theta = (\sigma_s - \sigma_{LS}) / \sigma_L$$

com

$\sigma_L$  = Tensão superficial do líquido

$\sigma_s$  = Tensão superficial do metal

$\sigma_{LS}$  = Tensão interfacial entre metal e líquido



$\Theta$  = Ângulo de contato (ângulo de contato ou de umedecimento) do líquido sobre o metal

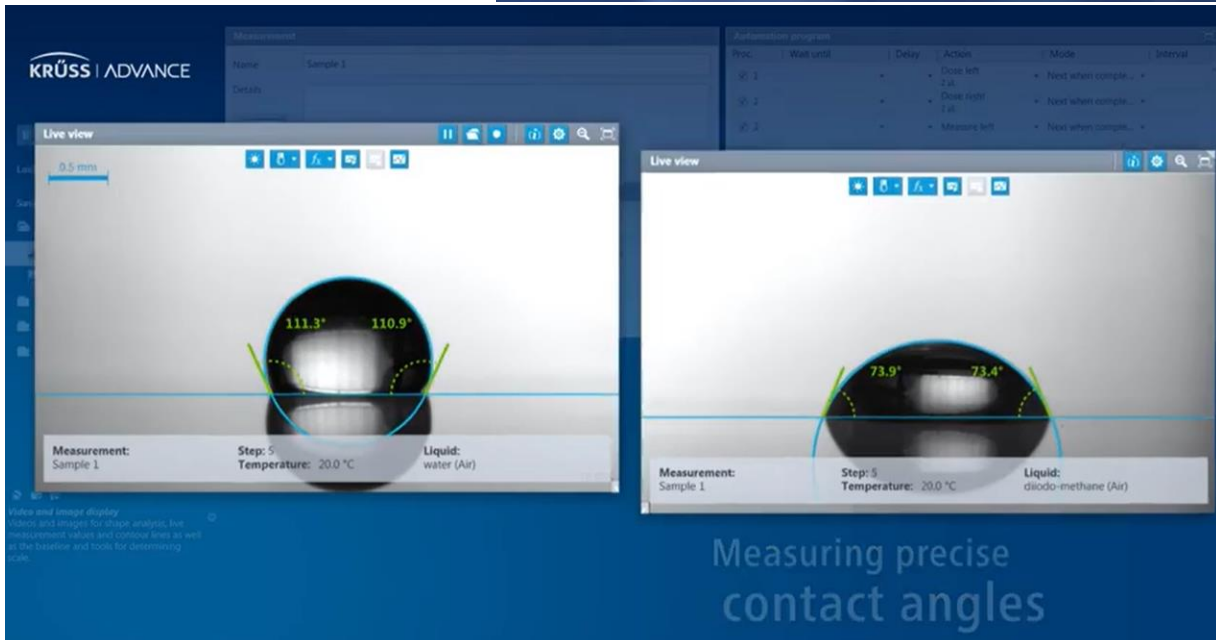
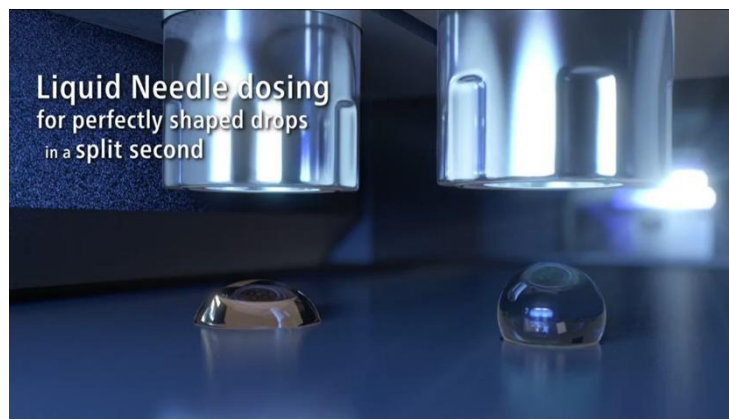
A distribuição independente do líquido sobre a superfície metálica (difusão do curso do pincel ou da gota, também designado de espalhamento) é alcançado a um ângulo de contato de  $\Theta = 0^\circ$  (corresponde ao  $\cos \Theta = 1$ ). Para a equação de Young, obtemos neste caso:  $\sigma_L = \sigma_s - \sigma_{LS}$  é também  $\sigma_{LS} \ll \sigma_s$  e se aplica ao líquido que deve umedecer uma superfície metálica:  $\sigma_L < \sigma_s$ . Isto resulta no seguinte: se a tensão superficial do líquido for menor que a tensão superficial do metal, o metal é umedecido pelo líquido, mas se a tensão superficial do líquido for maior que a tensão superficial do metal, não ocorre qualquer umedecimento.

### 3.2 Determinação da tensão superficial através da medição do ângulo de contato

Os valores de tensão superficial mencionados na literatura especializada referem-se principalmente aos metais em um estado líquido próximo à respectiva temperatura de fusão. Para determinar o umedecimento, entretanto, é importante a tensão superficial das superfícies metálicas revestidas com camadas de óxido e adsorção à temperatura ambiente.

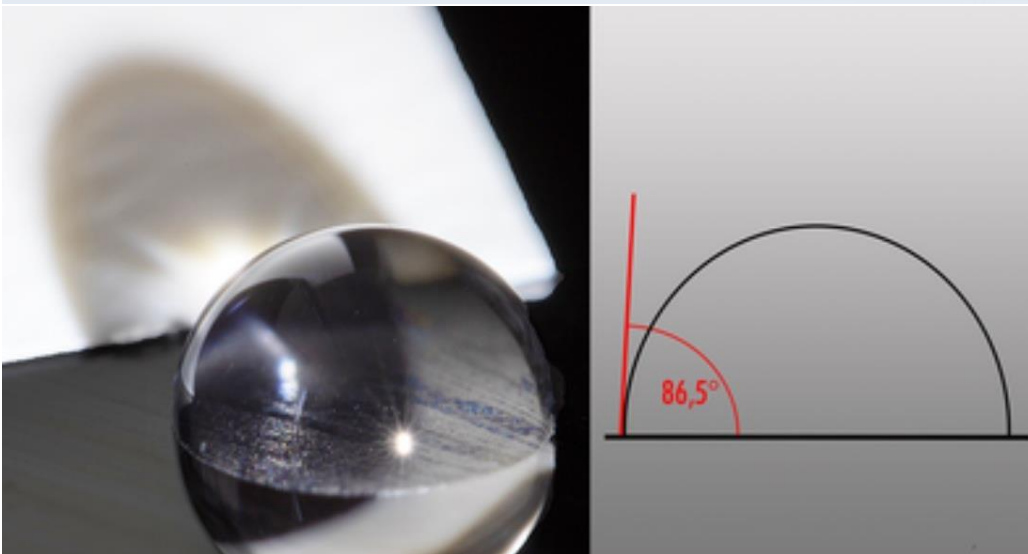
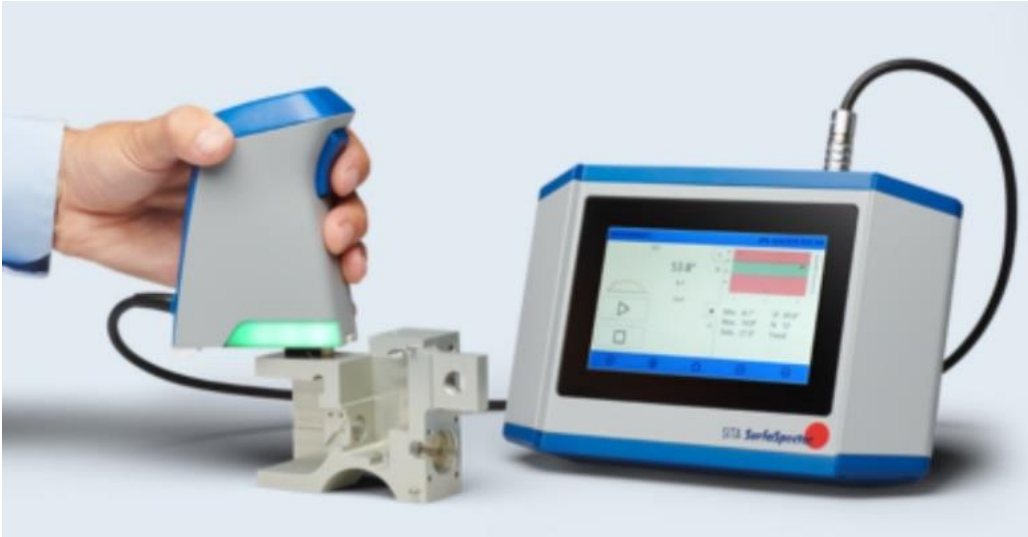
Um método de medição para a determinação local da tensão superficial de superfícies metálicas é a medição do ângulo de contato. Uma gota de um líquido de tensão superficial definida é aplicada à superfície metálica e os ângulos de borda das gotas são avaliados opticamente.

Vários dispositivos de medição estão disponíveis para essas tarefas de medição. O valor da tensão superficial (energia livre de superfície) pode ser determinado, por exemplo, com o Mobile Surface Analyzer- MSA da empresa KRÜSS GmbH [www.kruss-scientific.com](http://www.kruss-scientific.com), nesse caso, duas gotas são aplicadas ao metal a ser examinado por meio de dois líquidos de teste (tensão superficial diferente) e a tensão superficial do metal pode ser determinada pela determinação do ângulo de contato.



Direitos de autor: Krüss GmbH

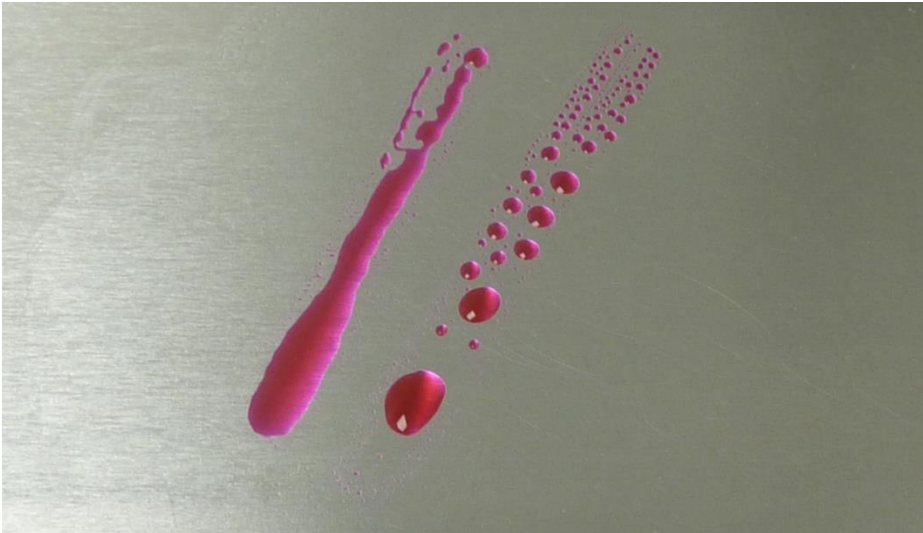
Outro fornecedor seria, nesse caso, a empresa SITA Messtechnik GmbH [www.sita-process.com](http://www.sita-process.com). A SITA oferece um sistema de medição para "avaliação rápida da molhabilidade da superfície no processo de fabricação, medindo o ângulo de contato". O SITA SurfaSpector é um instrumento de medição manual para testar a molhabilidade de, por exemplo, superfícies metálicas antes e depois do tratamento ou limpeza da superfície. Nesse método, uma gota (1µl) de água ultrapura é aplicada na superfície a ser medida por meio de uma unidade dosadora integrada na cabeça do sensor. Uma câmera de alta resolução é usada para registrar a forma da gota na extremidade frontal do sensor, a partir da qual o ângulo de contato pode ser determinado.



Fonte: SITA Messtechnik GmbH

### 3.3 Determinação da tensão superficial utilizando o método de tinta de teste

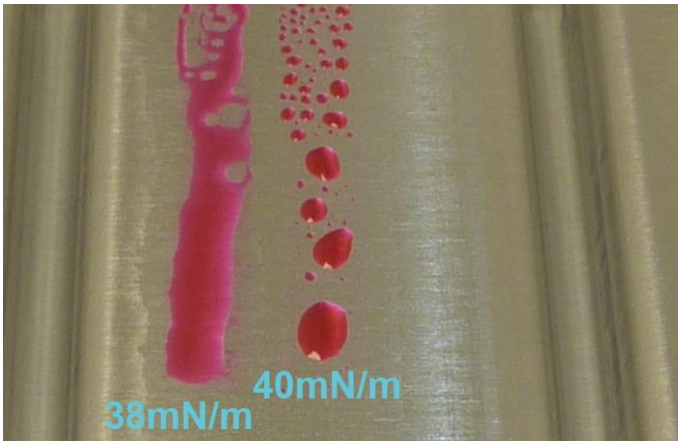
Um outro método amplamente utilizado para determinar a tensão superficial de metais à temperatura ambiente é o método de tinta de teste. Nesse processo, a tinta de teste com uma tensão superficial definida é aplicada à superfície metálica a ser testada, por exemplo, com um pincel. Se a tinta de teste umedecer a superfície metálica, a tensão superficial (tensão interfacial) da superfície metálica corresponde ou está mesmo acima do valor da tinta de teste. Se a tinta de teste formar grânulos na superfície do metal, a tensão superficial (tensão interfacial) da superfície do metal é menor do que a tensão superficial da tinta de teste.



As tintas de teste são fornecidas, por exemplo, pela empresa arcotest GmbH [www.arcotest.info](http://www.arcotest.info). As tintas de teste PINK cobrem uma faixa de tensão superficial de 22 mN/m a 60 mN/m em etapas de 2 mN/m.



Como já mencionado, uma tensão superficial definida do substrato é um fator muito importante nos processos de revestimento. Mas qual é a causa de um valor de tensão superficial muito baixo com uma superfície metálica?



Como já mencionado, na prática, uma superfície metálica é, na verdade, uma camada de óxido de metal e adsorção. Os átomos de oxigênio, assim como os átomos de carbono, são integrados à superfície metálica. As medições mostraram que uma superfície metálica desengraxada quimicamente (mais precisamente, superfície de óxido de metal e adsorção) apresenta um valor de tensão superficial de  $> 60 \text{ mN/m}$ . Entretanto, se considerarmos, por exemplo, as peças perfuradas que são inicialmente umedecidas com óleo devido ao processo de perfuração e dobra e depois são limpas em um sistema de limpeza disponível comercialmente, se chega a um valor de tensão

superficial das peças perfuradas de cerca de  $38 \text{ mN/m}$  e, em casos individuais, de cerca de  $44 \text{ mN/m}$ . - Antes do processo de limpeza, o valor da tensão superficial na superfície metálica das peças perfuradas é geralmente inferior a  $30 \text{ mN/m}$ , dependendo do óleo de perfuração e estiragem utilizado. –

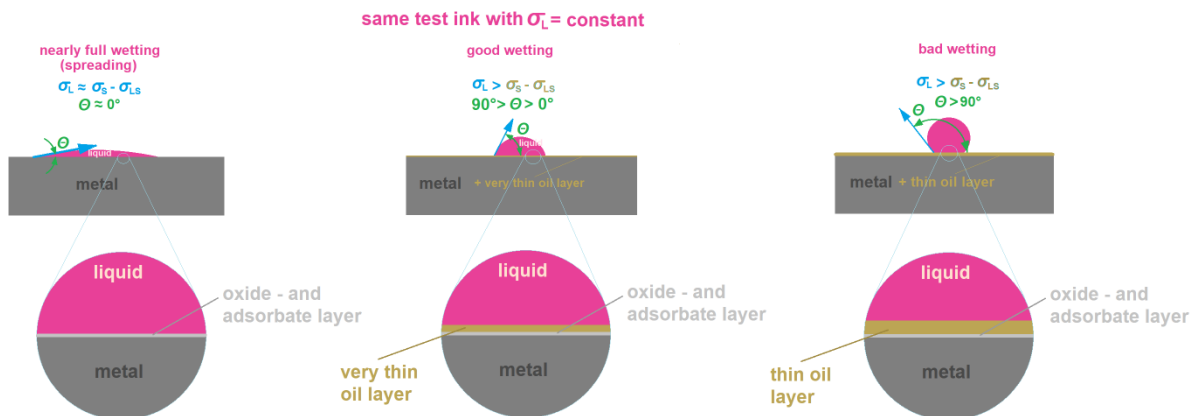
Especialmente para peças perfuradas e aqui principalmente para contatos de encaixe, entretanto, um alto valor de tensão superficial é importante ( $> 38 \text{ mN/m}$ ), pois esse valor indica o teor residual de óleo na superfície metálica. O teor residual de óleo aumenta a resistência de contato, o que pode levar a uma redução no desempenho durante a transição de encaixe.

Usando duas tintas de teste ( $38 \text{ mN/m}$  e  $40 \text{ mN/m}$ ), poderia ser comprovado que o valor da tensão superficial para essa superfície de contato está entre  $38 \text{ mN/m}$  e  $40 \text{ mN/m}$ .

Com a tinta de teste de  $40 \text{ mN/m}$  usada já não existe um umedecimento limpo (o ângulo de contato  $\Theta$  se desvia fortemente de  $0^\circ$ ), enquanto que com  $38 \text{ mN/m}$  foi quase alcançado um espalhamento completo.

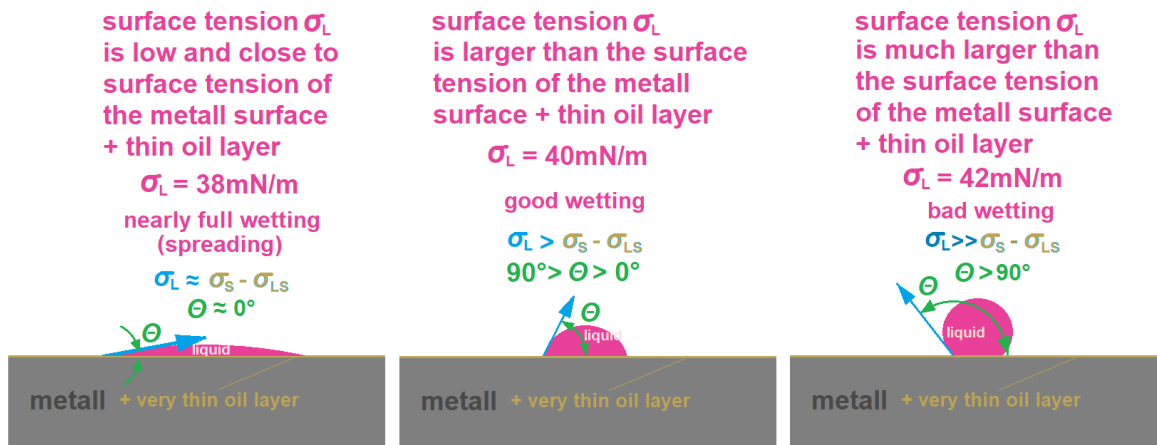
O diagrama a seguir mostra esquematicamente como a tensão superficial da superfície de contato diminui com o aumento da espessura da camada de óleo (é verificado com a mesma tinta de teste em cada caso):

O umedecimento da superfície de contato diminui com o aumento da espessura da camada de óleo.



Para determinar a tensão superficial de uma superfície de contato, são usadas em sequência tintas de teste com diferentes tensões superficiais. Se a tensão superficial da parte de contato for de pelo menos  $38 \text{ mN/m}$ , se poderia começar com uma tinta de teste com o mesmo valor de tensão superficial:  $38 \text{ mN/m}$  de tinta de teste umedecida,  $40 \text{ mN/m}$  de tinta de teste não umedece mais completamente,  $42 \text{ mN/m}$  de tinta de teste rola para fora da superfície de contato.

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



O método de tinta de teste é um procedimento de controle simples que pode ser implementado rapidamente na prática e pode ser usado para a inspeção aleatória de amostras de componentes. Embora fosse desejável obter informações sobre a espessura residual da camada de óleo de forma direta, essa tem se mostrado uma tarefa difícil na prática no passado.

Enquanto isso, o método de tinta de teste se estabeleceu no ambiente industrial para o controle de presença de quaisquer camadas finas de óleo.

Esta é também a razão pela qual também utilizamos o método de tinta de teste como método de referência nas seguintes medições de teste.

### 3.4 Método de referência e medição em linha

Os métodos de referência apresentados para determinar a tensão superficial são métodos de teste nos quais amostras individuais são retiradas do processo de produção e estes fornecem informações sobre a qualidade superficial de todo o lote. Esses métodos de teste são frequentemente usados como parte do controle de qualidade em laboratório ou em linha.

Cada vez mais, no entanto, o objetivo é atingir 100 % de controle dos componentes produzidos, o que torna necessário um processo de medição em linha.

O ideal seria que um método em linha produzisse leituras comparáveis àquelas de um método de referência já estabelecido, tal como o método de tinta de teste. Por exemplo, o sistema de medição em linha deve exibir valores para a tensão superficial do componente em mN/m.

Os sensores em linha dos sensores SPECTRO M oferecem uma função de calibração (CONVERSION) com a qual os valores internos MIR podem ser facilmente convertidos para os valores do sistema offline (método de tinta de teste).

## 4 Áreas de aplicação para os sensores SPECTRO-M

Em princípio, todos os compostos orgânicos, p.ex., polímeros, óleos, ..., mostram absorção de vibração na faixa MIR. Entretanto, qualquer método MIR atinge seus limites quando a camada orgânica é tão espessa que toda a energia de estimulação é absorvida e quase nenhum sinal útil é refletido.

No entanto, o sistema funciona muito bem quando camadas orgânicas finas são depositadas em substratos não orgânicos, ou seja, substratos que não apresentam absorção de MIR. A detecção de camadas finas de óleo em



metais (no processamento de metais, especialmente na área de perfuração) é adequadamente destinada para o uso do método de medição MIR.

Os sensores da família SPECTRO-M são particularmente adequados para as seguintes aplicações:

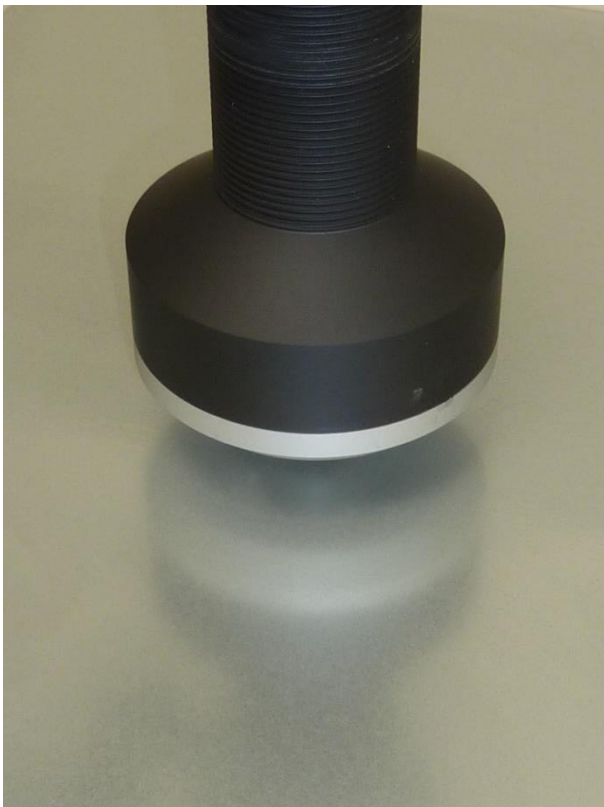
- Controle em linha da tensão superficial das superfícies metálicas após a limpeza
- Controle em linha da espessura da camada de aplicações finas de óleo em superfícies metálicas
- Análise laboratorial para a evaporação de óleos sobre metais e determinação do depósito residual

As seções seguintes descrevem nossas medições de teste em vários produtos com óleo e a metodologia utilizada.

## 5 Medições de teste em diferentes óleos

### 5.1 Motivação para a medição de camadas de óleo em superfícies metálicas

Ao processar metais durante o processo de conformação, o uso de óleos é essencial. Por exemplo, os óleos de corte aplicados às correias metálicas garantem baixo desgaste das ferramentas de punção. Mas nos processos de usinagem, os óleos de perfuração contribuem de forma indispensável para a proteção das ferramentas de perfuração e fresagem. Além disso, os óleos servem como proteção anticorrosiva de produtos semiacabados, tais como chapas, mas também películas metálicas. Por outro lado, após o processamento posterior, é necessário remover os resíduos de óleo dos produtos acabados com o mínimo de resíduos possível. Para este fim são utilizados sistemas especiais de limpeza, nos quais as peças metálicas são lavadas e sopradas.



A fim de cumprir as diretrizes técnicas de proteção ambiental durante a aplicação do óleo e também para levar em conta aspectos econômicos, é aconselhável determinar a quantidade de óleo aplicada. Entretanto, a determinação da respectiva quantidade de óleo também pode ser realizada em linha, durante o processo em curso. Os métodos de medição de fluorescência UVA são frequentemente utilizados para esse fim. No entanto, nem todos os óleos apresentam as propriedades fluorescentes necessárias para o efeito e aditivos UV adicionais resultam em custos mais altos.

O controle de qualidade do processo de limpeza também poderia ser realizado por meio do sistema de sensores. Certamente, o desafio aqui é detectar com segurança as menores quantidades possíveis de resíduos de óleo em linha. Os resíduos de óleo diminuem a tensão superficial e interferem no processo de revestimento a jusante.

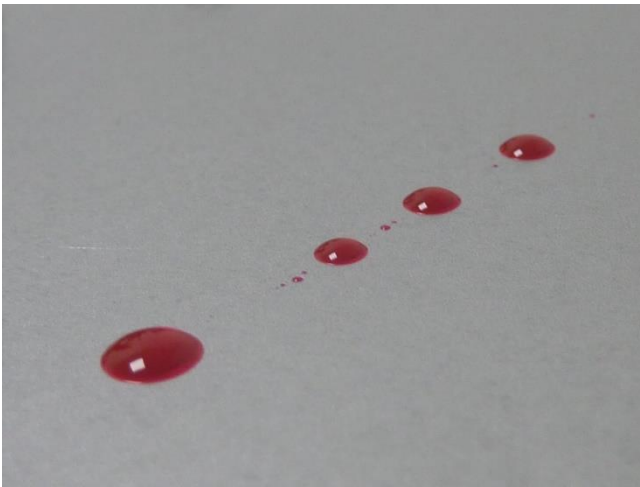
No caso de componentes condutores de eletricidade, tais como barras de cobre ou linhas elétricas, é necessária a menor resistência de transição possível. Mas uma camada residual de óleo representaria um problema a este respeito, pois reduziria a eficiência energética de forma não insignificante.



## 5.2 Método de tinta de teste – um método de medição de referência amplamente utilizado para o controle de óleo residual

Ao medir camadas de óleo, se pensa principalmente em uma determinada espessura de camada, medida, por exemplo, em  $\mu\text{m}$ . Uma possibilidade seria determinar o peso por área da película de óleo. No entanto, para determinar isso, o peso de todo o componente deve ser determinado. É necessário um equilíbrio preciso, assim como um componente exatamente idêntico em condição não oleosa para determinar a diferença de peso. Para poder deduzir a espessura da camada a partir do peso por área, também são necessárias informações sobre a densidade do respectivo óleo, assim como a área do respectivo componente. A diferença relativamente grande no peso entre a camada de óleo real e o peso do componente não é exatamente propícia a uma determinação exata da espessura da camada de óleo. Outra fonte de erro é a diferença de peso dos dois componentes em estado não oleado.

A falta de meios eficazes e econômicos para medir a espessura residual da camada de óleo é provavelmente a razão pela qual um método de teste simples para determinar a tensão superficial das peças metálicas está se tornando cada vez mais popular na prática. A presença de uma fina camada de óleo sobre uma superfície metálica causa uma redução da tensão superficial de  $> 50 \text{ mN/m}$  no estado não umedecido, para abaixo de  $40 \text{ mN/m}$  com uma camada de óleo (dependendo da espessura da camada e do tipo de óleo). As chamadas tintas de teste, que cobrem uma faixa de  $30 \text{ mN/m}$  a  $50 \text{ mN/m}$  em passos de dois ( $30 \text{ mN/m}$ ,  $32 \text{ mN/m}$ ,  $34 \text{ mN/m}$ , ...), são usadas para detectar a respectiva tensão superficial. A tinta de teste é aplicada no ponto a ser testado utilizando o pincel fornecido no frasco. Se a tinta de teste rolar para fora da superfície, a próxima tinta de teste superior é utilizada da mesma forma até que a tinta de teste adira à superfície por um período de tempo maior e, portanto, não é role para fora. A tensão superficial está, então, entre as duas últimas tintas de teste utilizadas. O princípio é que uma diminuição da tensão superficial é acompanhada por um aumento da espessura da camada de óleo.



A tinta de teste escorre pela superfície metálica umedecida com óleo, o que indica uma tensão superficial menor que o valor mostrado na tinta de teste.



Nessa figura, a tinta de teste adere à superfície metálica umedecida com óleo ou desengraxada. A tensão superficial da superfície metálica é, portanto, maior do que o valor especificado da tinta de teste.

### 5.3 Configuração de medição e metodologia

Para medições de laboratório, o SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) foi equipado com um distanciador ou acessório offline. (ver à direita)

O software SPECTRO MIR Scope v1.0 para PC foi usado para configurar o sensor para os testes, e a função RECORDER permitiu o registro e exportação dos valores de medição para o Excel®, que foi usado para preparar os dados.

Como objeto de medição foi utilizada uma placa de aço inoxidável desengraxada, na qual foram aplicadas camadas de óleo de diferentes espessuras (as camadas de óleo devem estar na faixa entre <math><1\ \mu\text{m}</math> e aprox. 20  $\mu\text{m}</math> do mesmo óleo. Isto foi testado utilizando diferentes quantidades de óleo (nos setores 1,2,3: quantidade média de óleo, nos setores 4,5,6: quantidade baixa de óleo e nos setores 7,8,9: quantidade abundante de óleo). Posteriormente, a mancha de óleo foi espalhada homoganeamente sobre um diâmetro de aproximadamente 60 mm, usando um pano descartável. Esse processo ocorreu em todos os setores mencionados. Além disso, a quantidade de óleo já espalhada foi usada para espalhar setores 2,3,5,6,8 e 9 uma segunda vez usando um pano descartável, sem alterar o diâmetro do respectivo setor. Esse processo foi repetido uma segunda vez nos setores 3,6 e 9.$



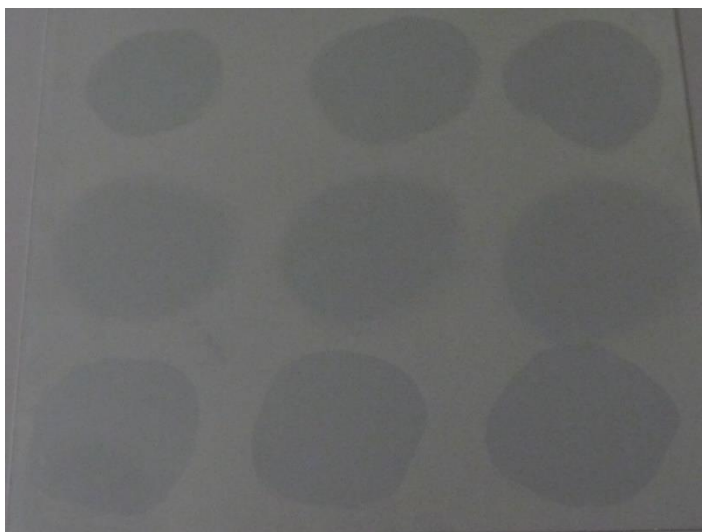
Notas sobre os painéis de amostra:

1,2 e 3: espessura média das camadas (diminuindo de 1 para 3)

4,5 e 6: espessura reduzida das camadas (diminuindo de 4 para 6)

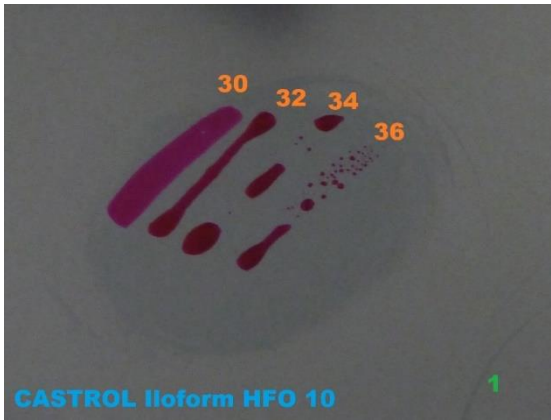
7,8 e 9: espessura grande das camadas (diminuindo de 7 para 9)

10,11,12 e 13: Setores utilizados para medição de referência (setores sem aplicação de óleo).

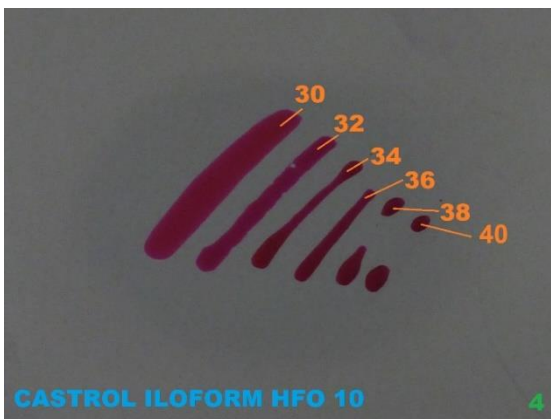


Placa de aço inoxidável com os 9 setores diferentes. Após os respectivos testes com um determinado tipo de óleo, a placa metálica foi limpa de óleo (desengraxada) quase sem deixar qualquer resíduo. A fim de verificar se o óleo de testes anteriores havia sido removido da superfície metálica, também foram feitas medições entre as aplicações individuais de óleo (setores 1-9). Estas áreas foram designadas como setores 10-13.

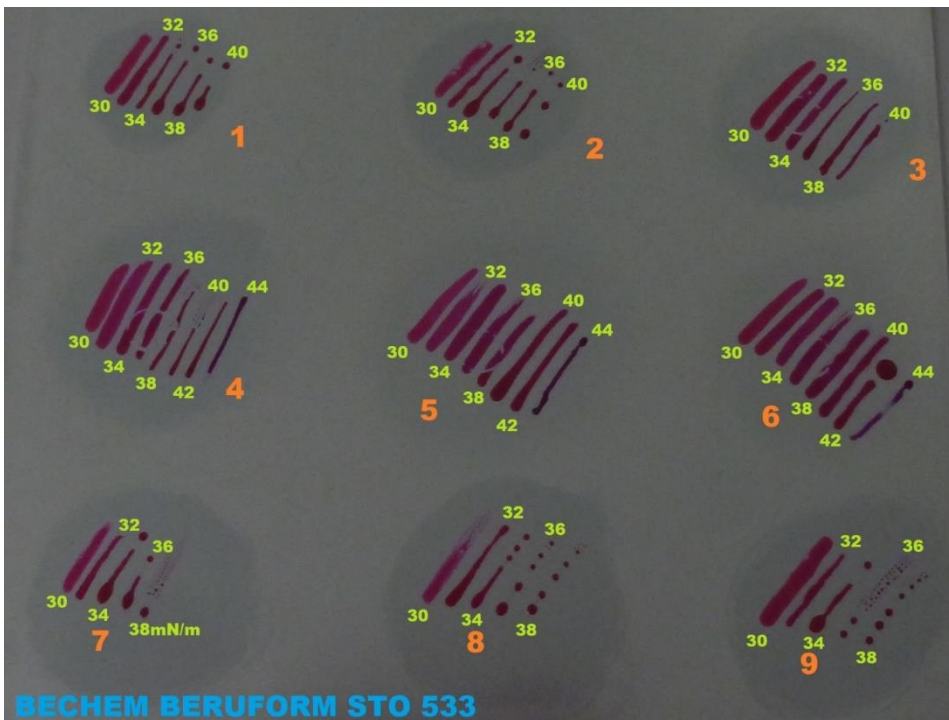
Como já mencionado no início, o teste de tensão superficial por meio do método de tinta de teste nos respectivos setores serve como referência para as respectivas medições. Essa tensão superficial foi determinada com a ajuda dos tipos de sensor de tintas de teste disponíveis (de 30 mN/m a 50 mN/m) para cada tipo de óleo. Isso foi feito após a medição com três sistemas diferentes de sensores SI, já que a tinta de teste aplicada influenciaria os resultados da medição ótica.



Amostra de óleo: CASTROL Iloform HFO 10  
 Tintas de teste: 30 mN/m, 32 mN/m, 34 mN/m, assim como 36 mN/m  
 Setor: 1



Amostra de óleo: CASTROL Iloform HFO 10  
 Tintas de teste: 30 mN/m, 32 mN/m, 34 mN/m, 36 mN/m, 38 mN/m e 40 mN/m  
 Setor: 4



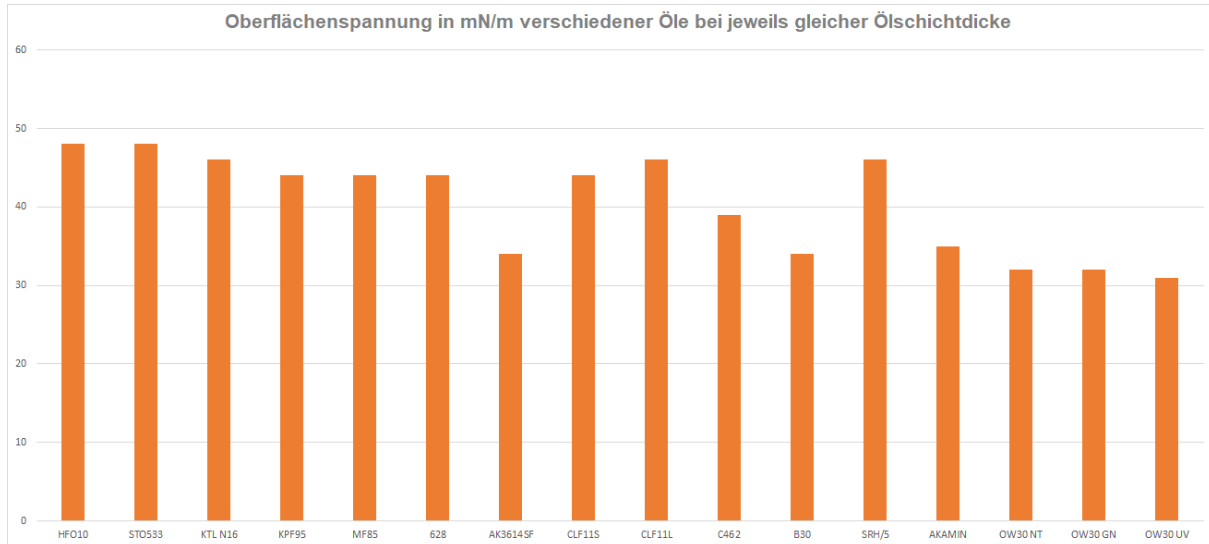
Amostra de óleo: BECHEM BERUFORM STO 533, tintas de teste usadas: 30 mN/m a 44 mN/m nos 9 diferentes setores

#### 5.4 Lista dos tipos de óleo testados

Estavam disponíveis os óleos a seguir para testes:

- 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 NEUTRO
- OW 30 0.01 % VERDE
- OW 30 0.01 % COR UV

Comparação da tensão superficial dos diferentes óleos com aproximadamente a mesma espessura de camada de óleo



A investigação dos vários óleos mostrou que a tensão superficial assume valores diferentes para aproximadamente a mesma espessura de camada de óleo, dependendo do óleo em questão:

Os valores de tensão superficial foram comparados no setor 6, ou seja, a menor quantidade de óleo aplicada (espessura da camada aprox. <1 µm). Uma conclusão da tensão superficial na espessura da camada de óleo não é, portanto, possível sem o conhecimento do óleo.

## 5.5 Controle de resíduos de óleo com o SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2)

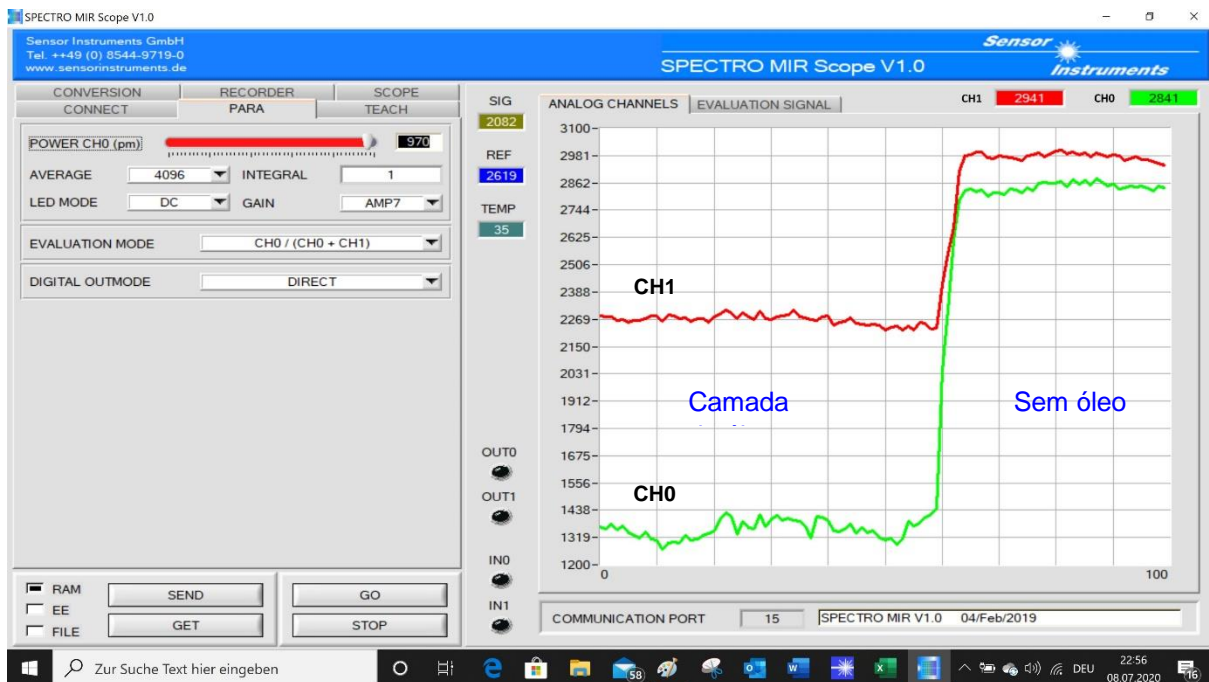
### 5.5.1 Sensor MIR e aplicação

Usando o **SPECTRO-M-10-MIR/(MIR/MIR1)**, os pontos de medição 1-9 foram medidos sucessivamente a uma distância de trabalho de 10 mm, enquanto as posições 10-13 serviram como locais de referência. O valor de medição normalizado resulta dos dois valores medidos determinados das duas janelas de medição no MIR –



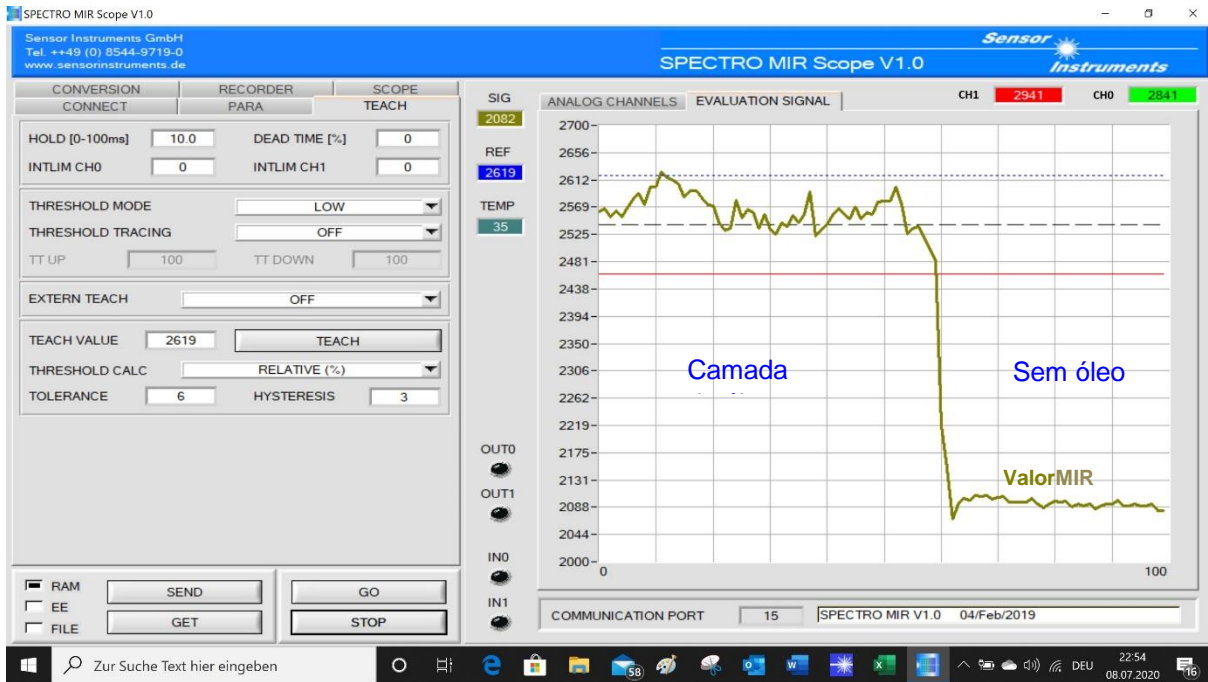
Durante as medições, foi estabelecida uma conexão com o PC via interface serial. A parametrização dos sensores, assim como a exibição numérica e gráfica dos dados de medição foi realizada através do software Windows® **SPECTRO MIR Scope V1.0**.

Por software se pode selecionar via EVALUATION MODE como o sinal padrão é formado:  $MIR = CH0/(CH0+CH1)$  ou  $MIR = CH1/(CH0+CH1)$



A camada de óleo também muda as propriedades óticas da superfície metálica, a superfície torna-se mais escura e, portanto, a reflexão ótica em ambos os canais também é reduzida.

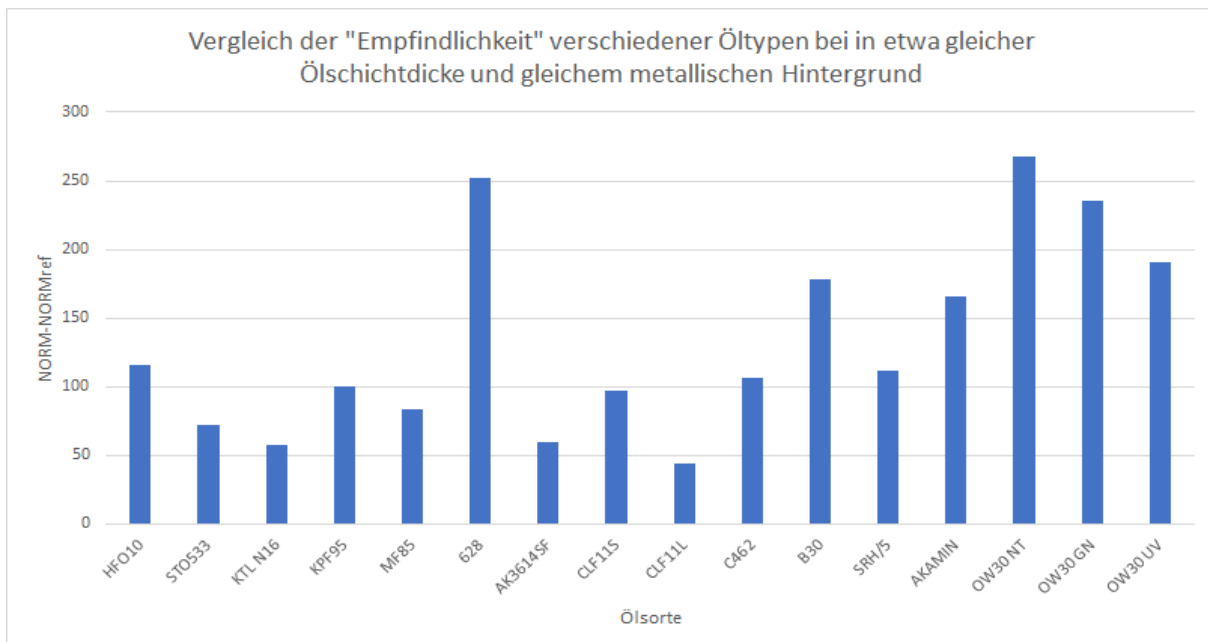
Além da exibição dos dois valores de medição CH1 (valor de referência a 4 µm) e CH0 (valor de medição a 3 µm), o SIG normalizado = valor MIR =  $CH1/(CH0+CH1) \times 4095$  também é exibido.



Exibição do valor MIR normalizado =  $SIG = CH1/(CH0+CH1)$

Para uma medição em linha, o software para PC "MIR Monitoring" também pode ser usado. A situação atual da qualidade, assim como a tendência, pode ser exibida ao operador do sistema em um monitor de PC durante a produção através de um gráfico de barras. Além disso, existe a possibilidade de registrar e salvar os dados de medição em formato ASCII para que possam ser avaliados posteriormente com um programa de cálculo de tabelas, p.ex., Excel®.

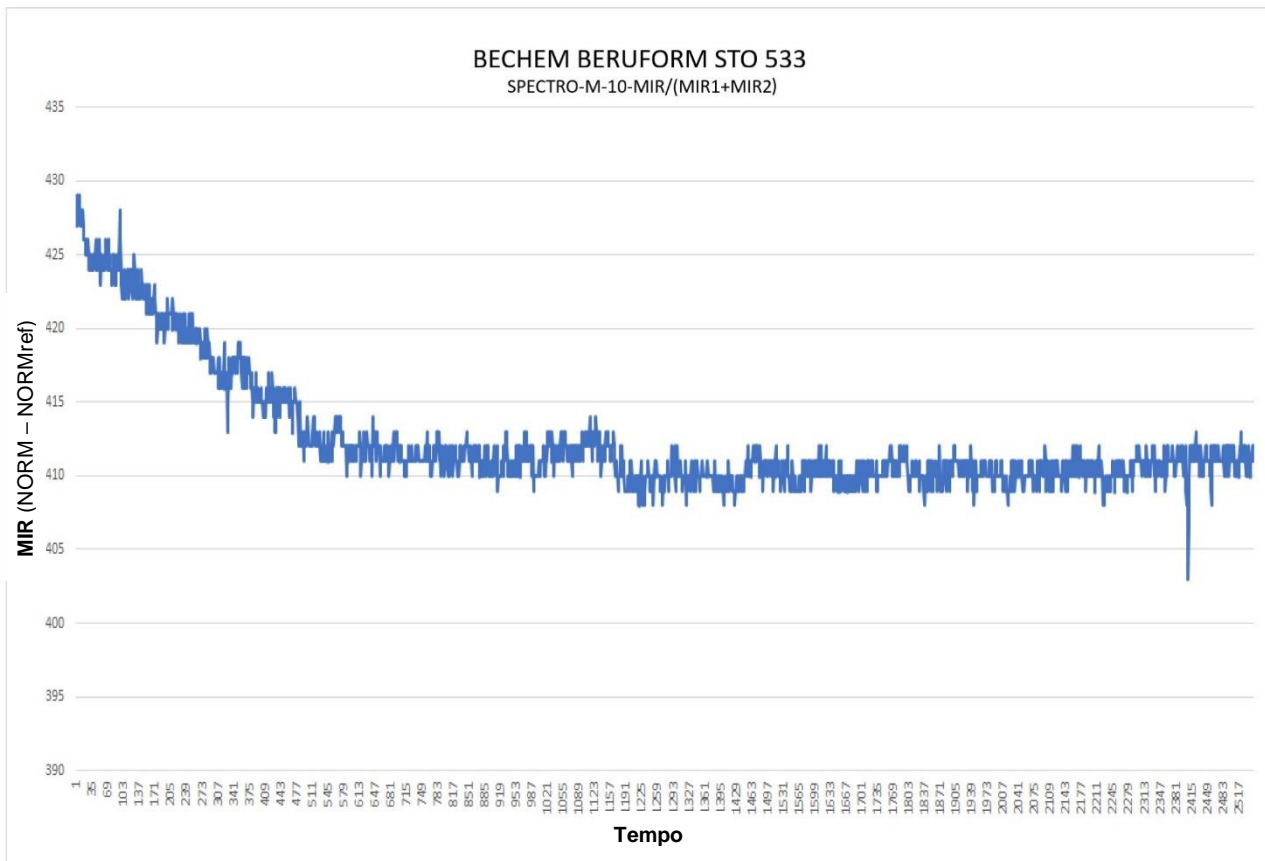
### 5.5.2 Comparação das sensibilidades dos diferentes óleos quando da mesma espessura de camada de óleo



Também foram encontradas diferenças de sensibilidade entre os diferentes tipos de óleo (com espessura de camada comparável) usando o método de medição MIR. Em comparação com os dois métodos de medição UV, porém, todos os tipos de óleo puderam ser detectados e a diferença entre a amostra mais sensível e a menos sensível foi apenas um fator de 7.



### 5.5.3 Dependência do sinal de medição MIR no tempo



Alguns dos óleos estudados mostraram propriedades evaporativas. Isto é, quando observado durante um longo período de tempo, o sinal medido tornou-se mais fraco até que se fixou em um determinado valor. Para estes óleos, realizamos medições de teste durante um período de tempo mais longo para examinar esse comportamento. O sistema de sensores foi colocado em um ponto de medição, que foi suprido com uma película de óleo de um determinado tipo de óleo, e posteriormente um registro de dados de medição foi realizado durante um período de tempo mais longo (aprox. 43 min.).

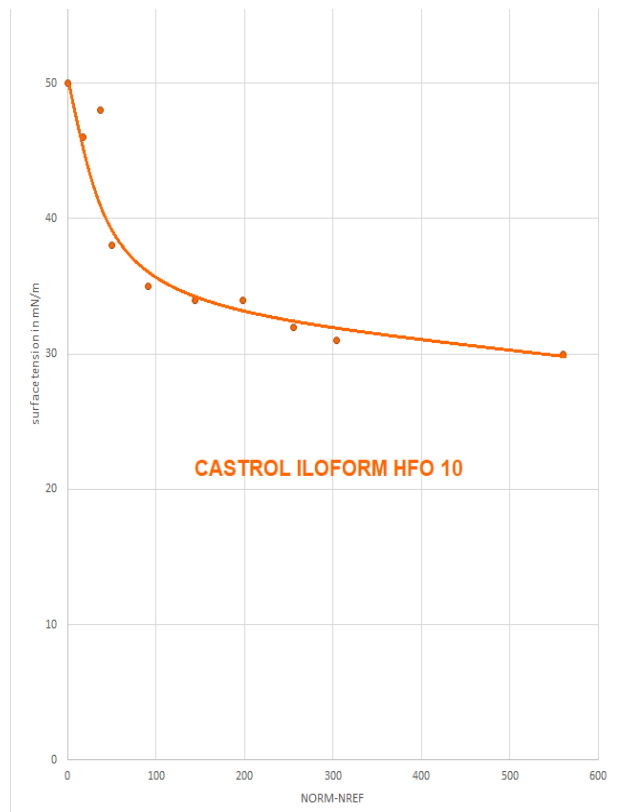
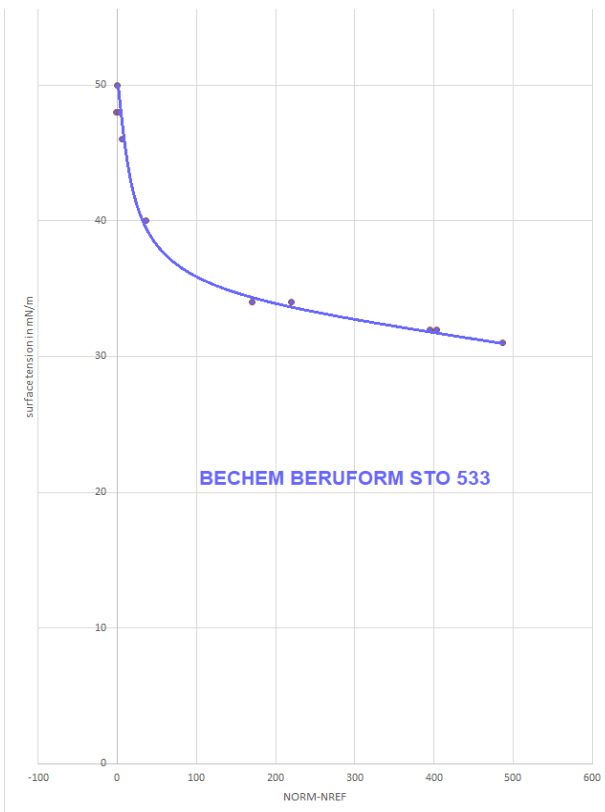
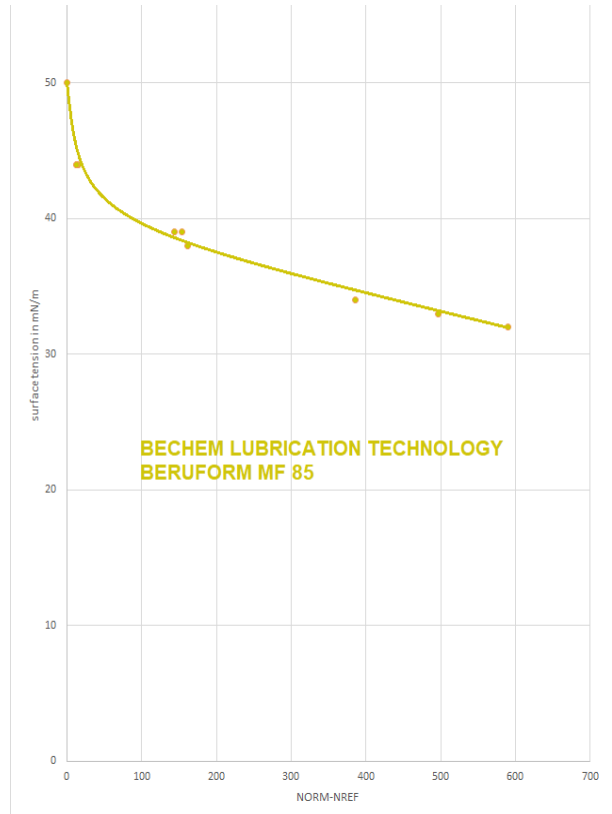
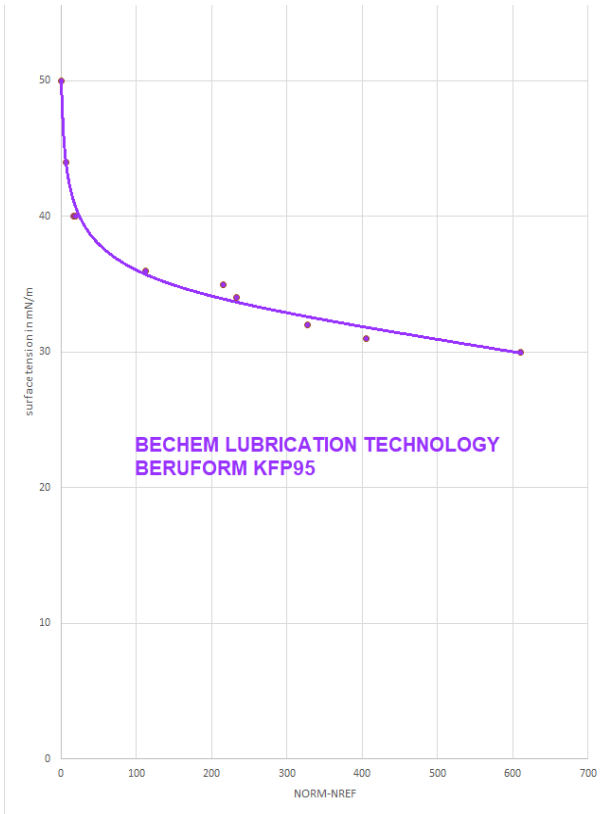
Com o óleo BECHEM BERUFORM STO 533 pôde ser determinada uma diminuição da faixa normalizada de aprox. 5 % em relação ao sinal inicial (o que corresponde a um fator de aproximadamente 1,05). O efeito observado pode provavelmente ser atribuído ao fato de que parte do óleo evapora e, então, é alcançado um equilíbrio.

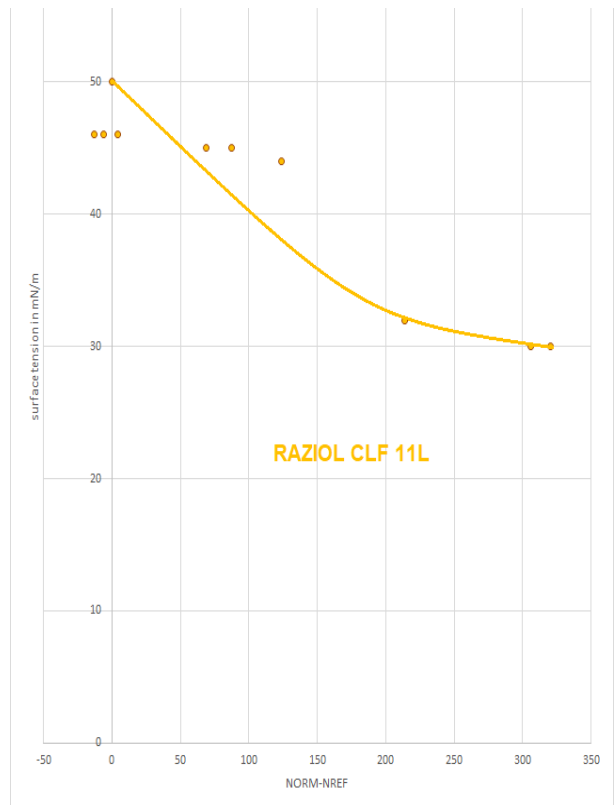
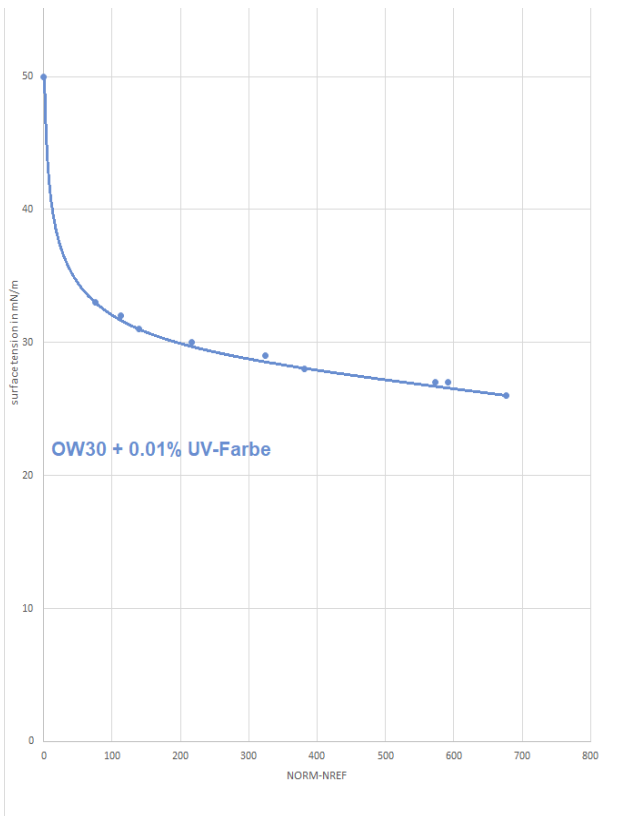
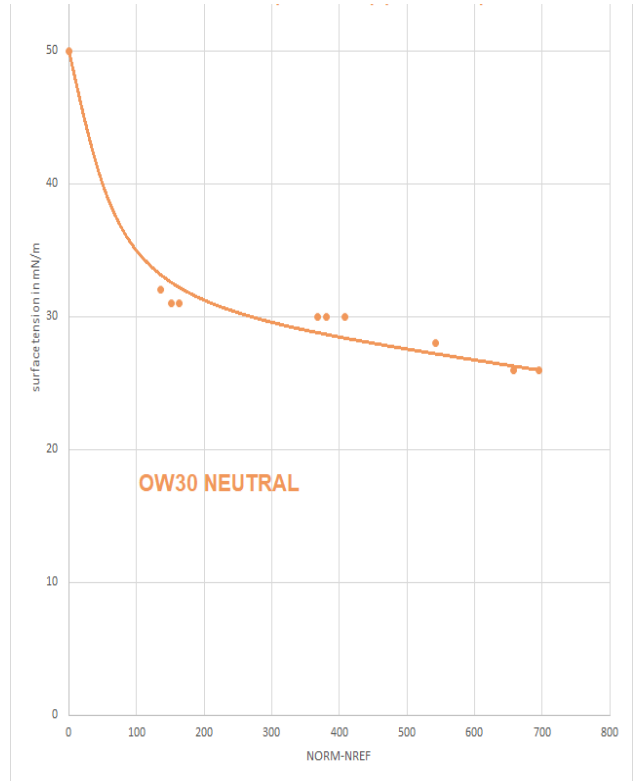
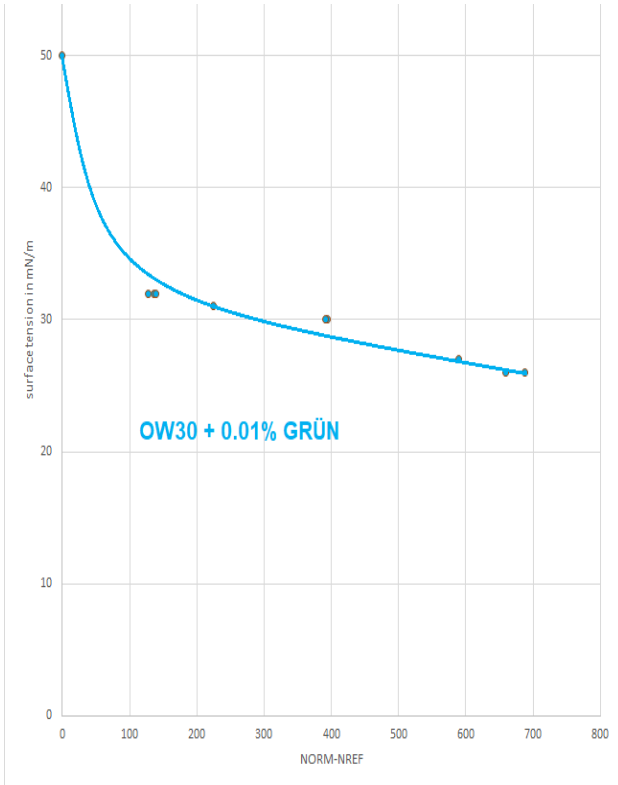
Como a energia da estimulação na faixa MIR é menor por um fator 10 do que nos métodos que utilizam UVA e UVC, a influência da estimulação MIR sobre os compostos poliméricos e, portanto, sobre a medição deve ser consideravelmente menor do que no caso de uma estimulação UV de energia comparativamente alta.

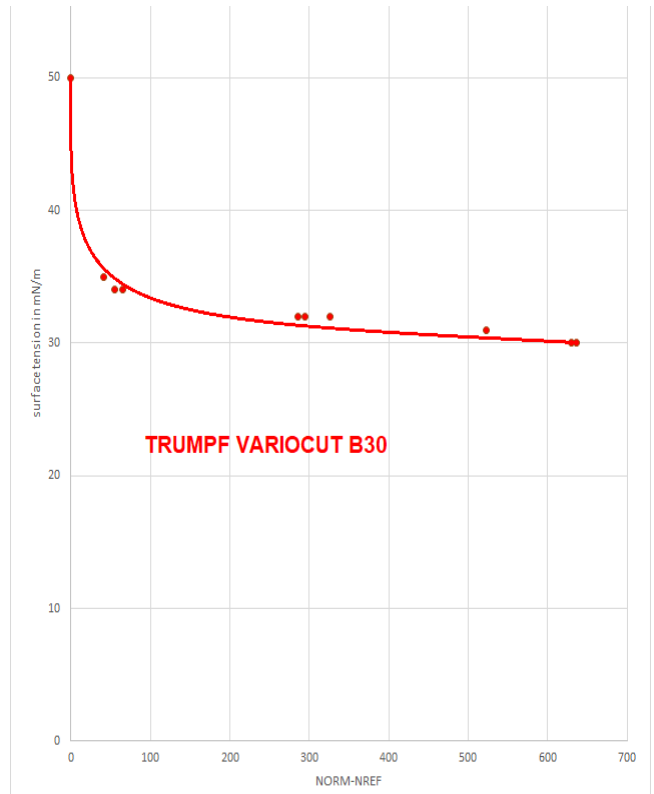
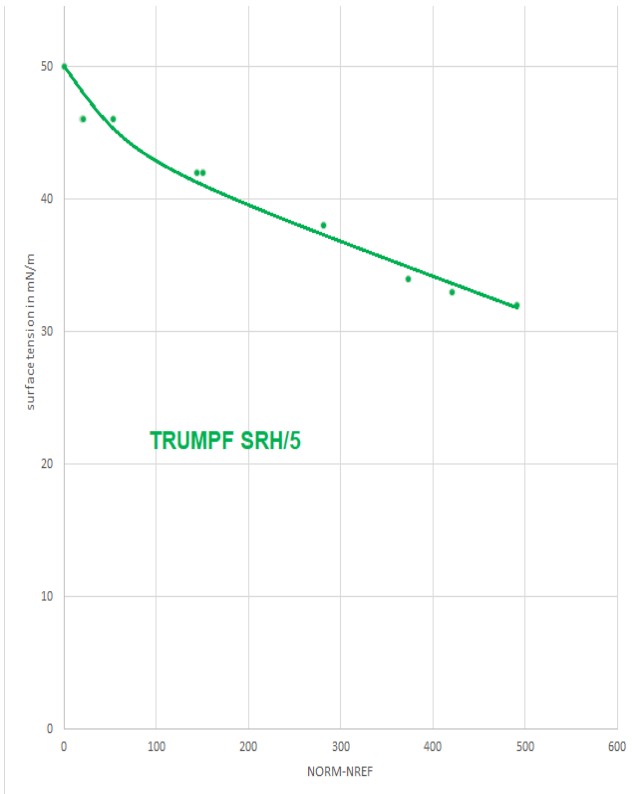
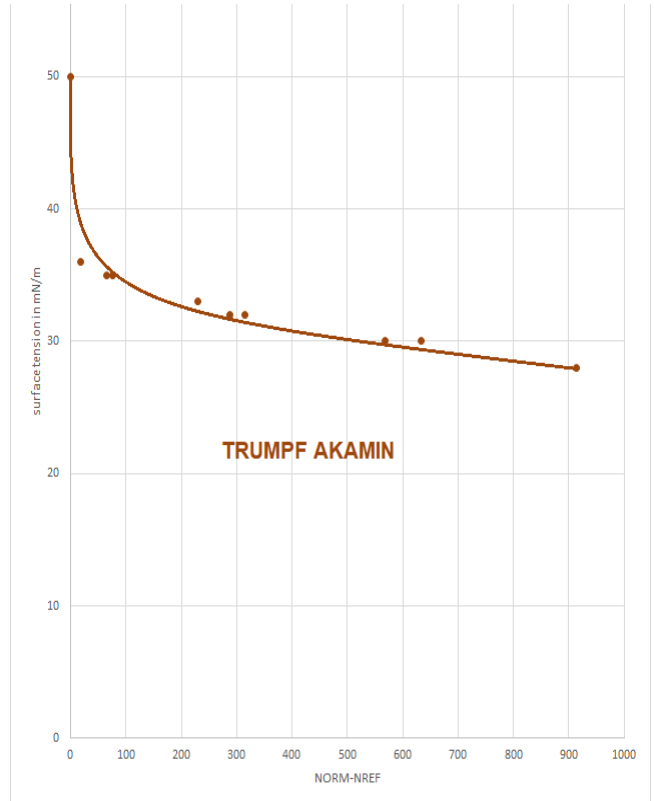
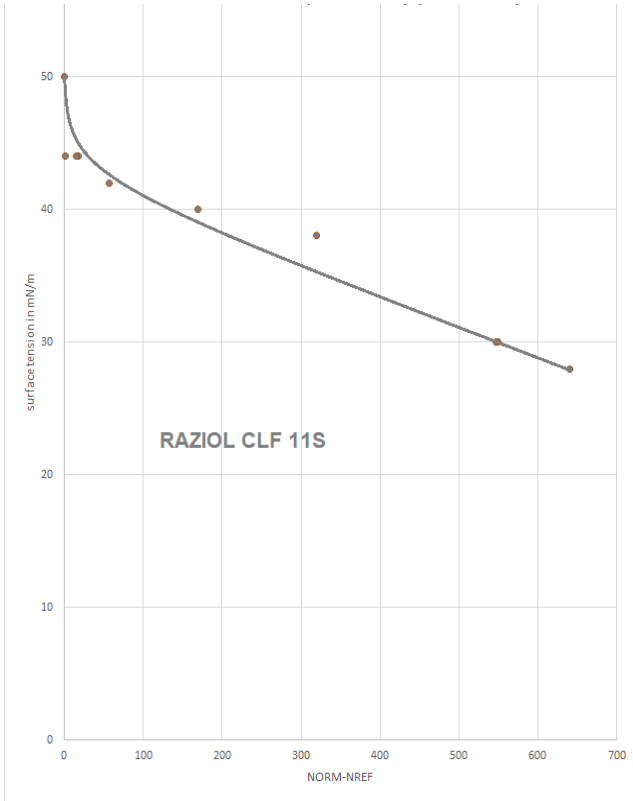
### 5.5.4 Correlação entre o sinal MIR e a tensão superficial medida por tipo de óleo

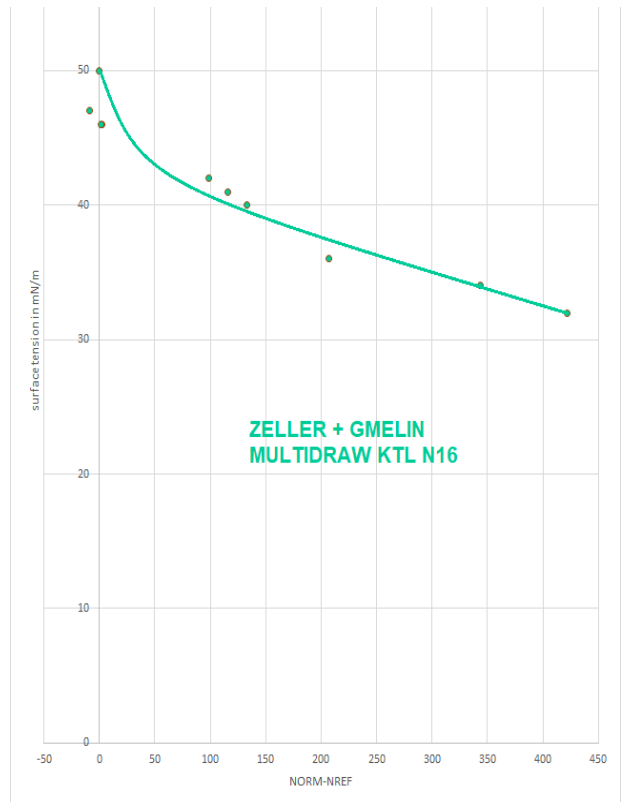
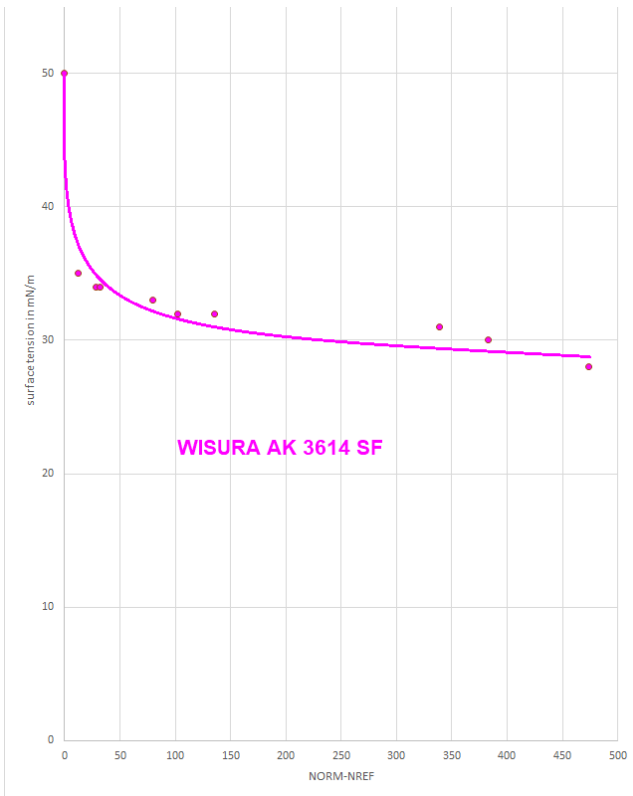
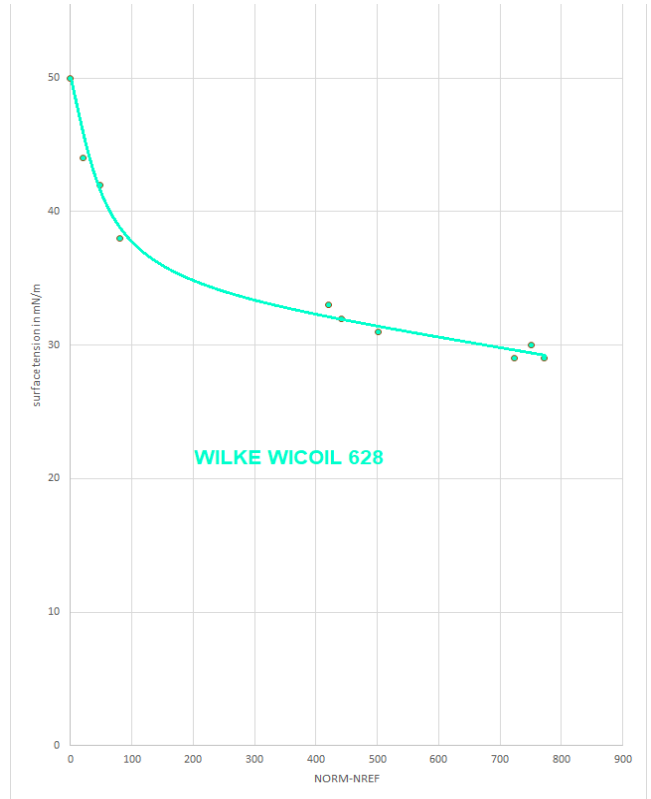
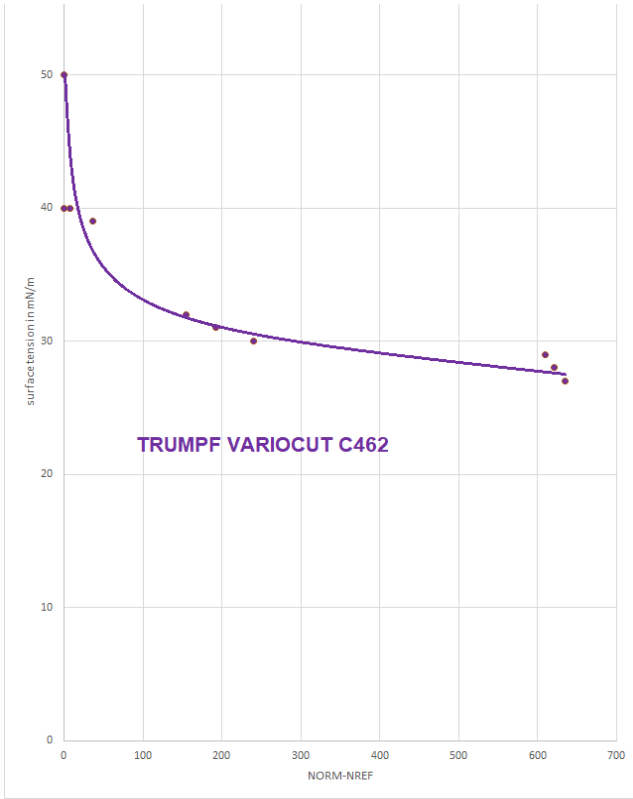
Os tipos de óleo foram medidos nas posições 1 - 9 (**NORM**) depois de primeiro se ter formado um valor médio de referência (**NORMref**) nas quatro posições de referência (posição 10, 11, 12, 13). A diferença entre os dois valores **NORM - NORMref** serve como uma medida para a tensão superficial.

Os gráficos que se seguem documentam os resultados das medições. Na ordenada (eixo x), os valores medidos  $MIR = NORM - NORM_{ref}$  do SPECTRO-M-10-MIR foram traçados, na coordenada (eixo y), os valores da tensão superficial em **mN/m**, que foram determinados com o método da tinta de teste vermelha.

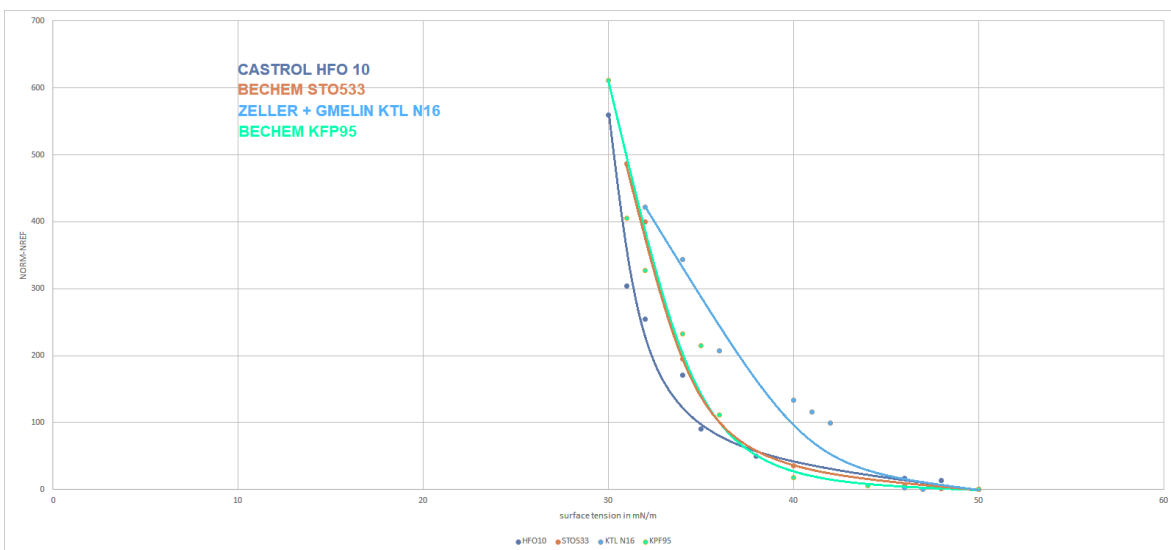
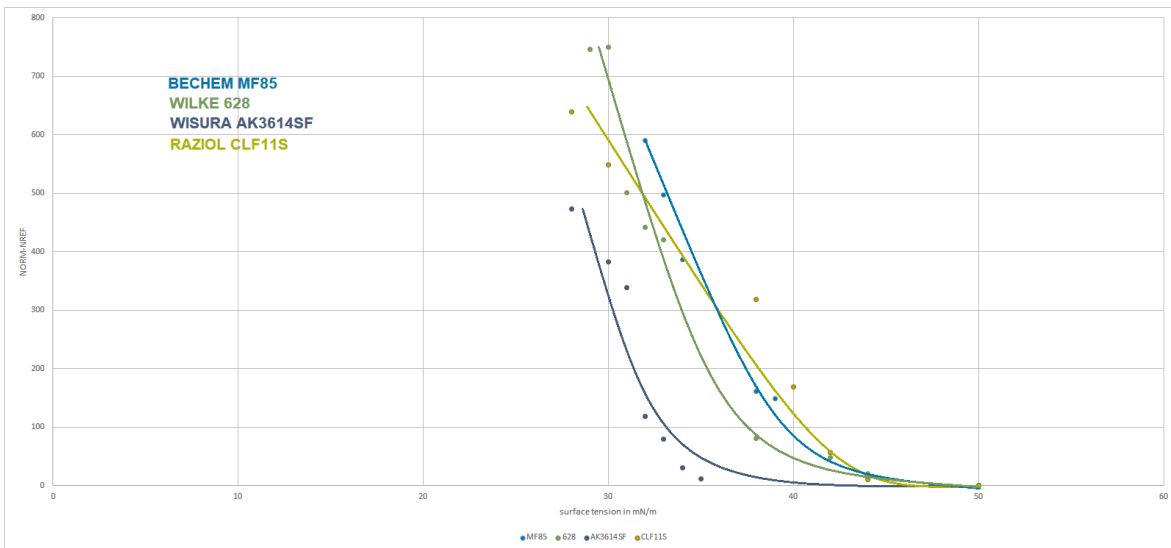
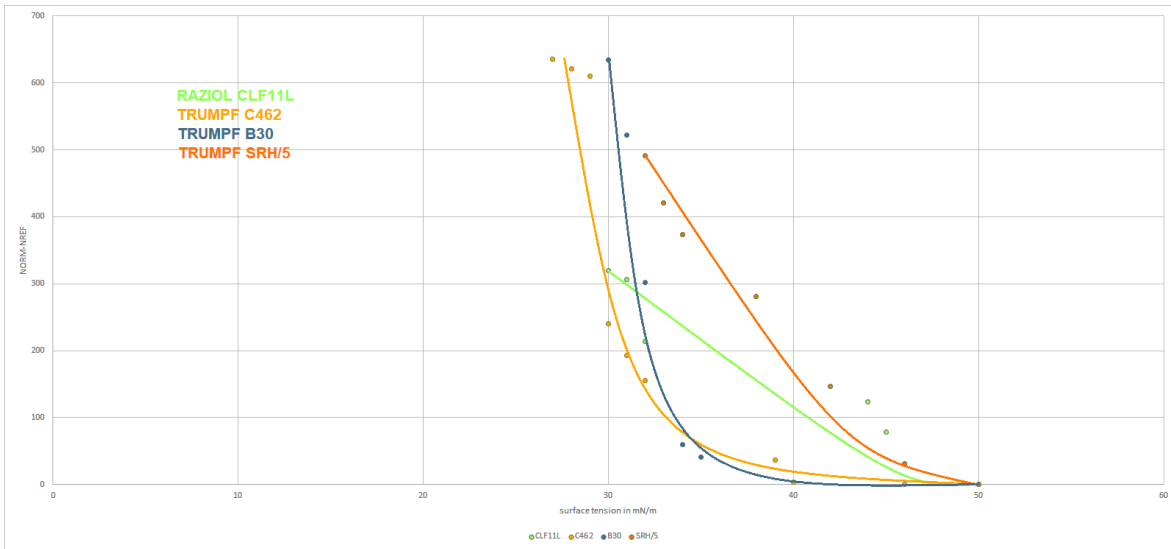


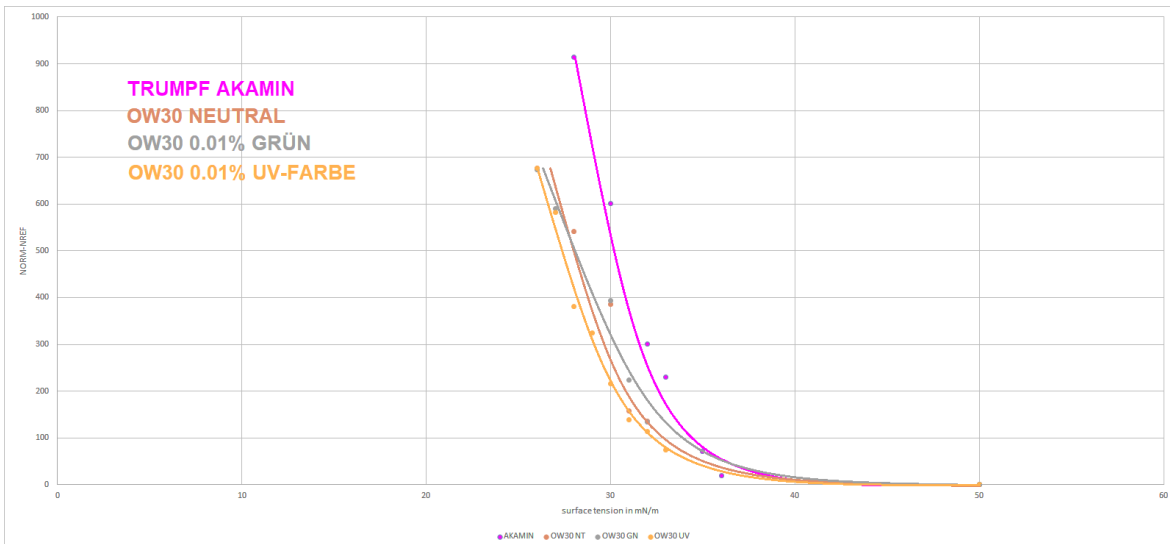






### 5.5.5 Comparação dos valores de medição MIR em função da tensão superficial





Pode-se ver nas curvas de medição que uma calibração de fundo (Normref) para a superfície metálica subjacente também é recomendada para o método de medição MIR. Para calibrar o método de medição de referência, as camadas de óleo selecionadas devem ser medidas com ambos os métodos e os valores inseridos na ferramenta CONVERSION do software SPECTRO MIR Scope.

Ambas as calibrações podem ser realizadas pelo usuário utilizando o software Windows® **SPECTRO MIR Scope V1.0**. Além do respectivo valor NORM, o valor da tensão superficial também é exibido.

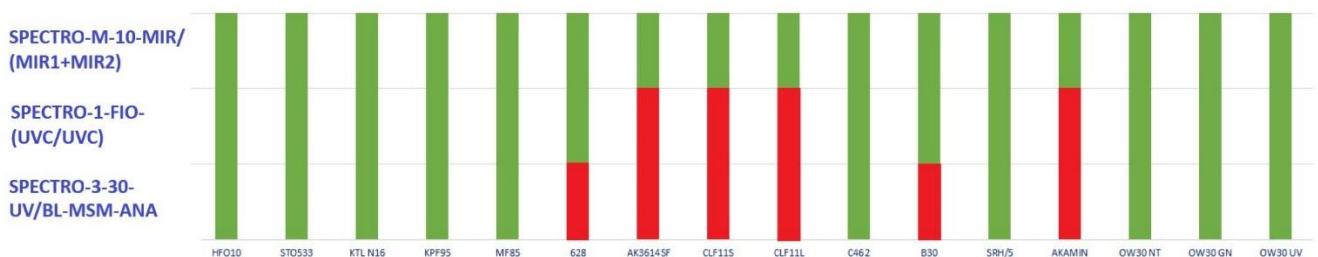
### 5.5.6 Comparação do método MIR com sensores UVA e UVC

Paralelamente às medições com o sistema MIR, também foram testados os mesmos óleos com sensores UV (UVA e UVC) da Sensor Instruments.

O SPECTRO-1-FIO-(UVC/UVC) é um sensor de fibra ótica com estimulação em UVC (265 nm) que detecta reflexão/absorção em UVC, enquanto o SPECTRO-3-30-UV/BL-MSM-ANA é um sensor de fluorescência com estimulação UVA (LED de alta potência, 365 nm) que avalia a emissão na faixa visível (normalmente 450 nm - 700 nm).

Devido às características dos tipos de óleo testados, os dois sensores UV não conseguiram detectar todos os óleos, já que alguns não mostraram nenhuma fluorescência UVA ou absorção UVC ou dificilmente avaliável. A tabela que se segue compara o MIR e os dois métodos de medição UV em termos de sua aptidão para medir os tipos de óleo testados.

**Quais óleos são adequados para o respectivo método de medição (verde: adequado, vermelho: inadequado):**



**Outras características importantes dos métodos de medição aplicados em comparação:**

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.

Em comparação com os métodos de medição UV com fibra ótica (pequeno ponto de medição), o SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) requer uma área de teste um pouco maior, que deve ser plana. Em todos os outros critérios, entretanto, este processo tem um desempenho melhor do que os processos UV. Uma das principais vantagens do método de medição MIR é a avaliação padronizada. Embora isto não possa substituir a calibração individual para cada tipo de óleo e superfície metálica, variações na superfície metálica e qualquer deriva de intensidade da fonte de luz utilizada podem ser compensadas na medida do possível. Além disso, ao utilizar luz artificial (lâmpadas LED de luz branca) para iluminação ambiente (luz ambiente), nenhuma influência sobre o resultado da medição pode ser observada.

**5.5.7 Resumo do controle de resíduos de óleo**

Na prática, a presença de películas de óleo em superfícies metálicas tem sido até agora testada com frequência de forma aleatória utilizando métodos offline, tais como tintas de teste. Mas se trata de um método de contato, já que a tinta de teste deve ser aplicada na respectiva superfície. Além disso, esse método de tinta de teste para determinar a tensão superficial também depende da observação visual do observador (formação de gotículas sim/não e em que tempo?) e o fato de haver apenas uma gradação relativamente grosseira de tintas de teste em termos de tensão superficial (em passos de 2 mN/m) não é necessariamente conducente a uma análise precisa. Além disso, é necessário um determinado tamanho da área a ser testada para esse método (largura do pincel x aprox. 15 mm de comprimento). Os já explicados métodos de medição 1 e 2 permitem áreas de medição muito pequenas, mas têm a desvantagem de nem todos os óleos reagirem ao respectivo efeito físico, ou seja, eles se comportam de maneira quase neutra.

Com a série SPECTRO-M, estão disponíveis sensores em linha que, após ajuste de referência (com uma superfície limpa do metal), podem detectar até mesmo depósitos de óleo muito finos (< 1 µm) em superfícies metálicas sem contato.

Com a chamada função CONVERSION do sensor, é possível atribuir valores de referência de outros métodos de medição de tensão superficial aos valores MIR normalizados do sensor. Após a calibração do sistema de referência, o sensor converte automaticamente os valores medidos nos valores do sistema de referência antes que eles sejam exibidos ou emitidos. Os valores medidos podem ser emitidos para um CLP através de uma interface de dados ou saída analógica (0...10 V, ou 4...20 mA).



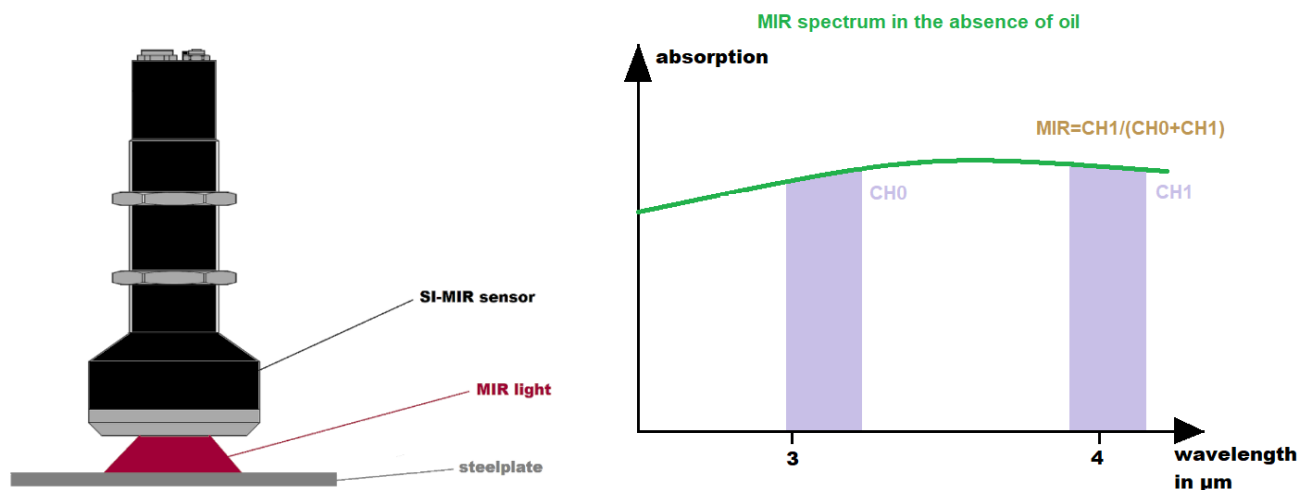
## 5.6 Controle em linha da espessura da camada de óleo

Se se quiser determinar a espessura de uma camada de um revestimento de papel, p.ex., uma tinta de impressão, o método de gramagem seria certamente um meio adequado de determiná-la. A gramagem do revestimento de papel não deve diferir por ordens de magnitude da gramatura do papel, normalmente com uma espessura de 0,05 mm a 0,2 mm. Máquinas de pesagem correspondentemente precisas provavelmente levariam a um resultado confiável. Mas como se comporta se em vez de um óleo de tinta de impressão e em vez de uma folha de papel for utilizada uma chapa de aço com uma espessura de 1 mm, por exemplo? É provável que o método de gramagem atinja seus limites a este respeito.

Mas como as espessuras das camadas de óleo podem ser determinadas de forma confiável sem muito esforço e sem contato? Um deles seria o método de fluorescência. A luz UVA é usada para estimular a fluorescência. A emissão secundária ocorre na faixa de comprimento de ondas visível. A intensidade do sinal de fluorescência é uma medida da espessura da respectiva camada de óleo. No entanto, também existem óleos nos quais o efeito da fluorescência dificilmente pode ser medido ou está completamente ausente e, portanto, uma medição da espessura da camada não funciona dessa forma. Com camadas muito finas, o sinal de fluorescência também não é muito pronunciado.

Observando a faixa média de infravermelhos (MIR), se pode observar que os revestimentos orgânicos, p.ex., uma camada de óleo, mostram absorção significativa a CH0, enquanto não ocorre qualquer absorção na janela de comprimento de onda de referência (CH1).

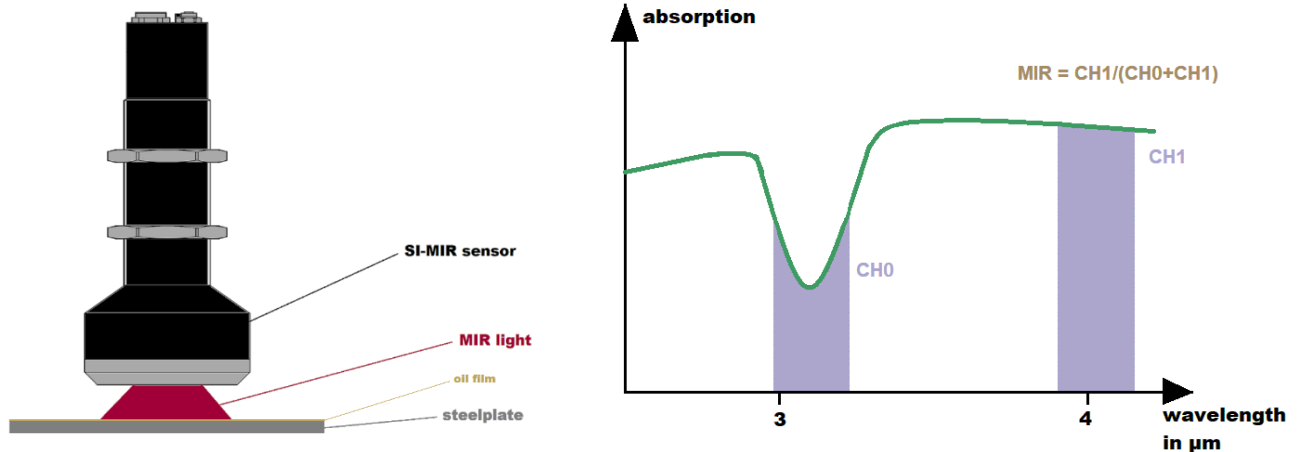
O sinal MIR do SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) mostra (em primeira aproximação) uma relação diretamente proporcional entre a espessura da camada de óleo e o sinal normalizado.



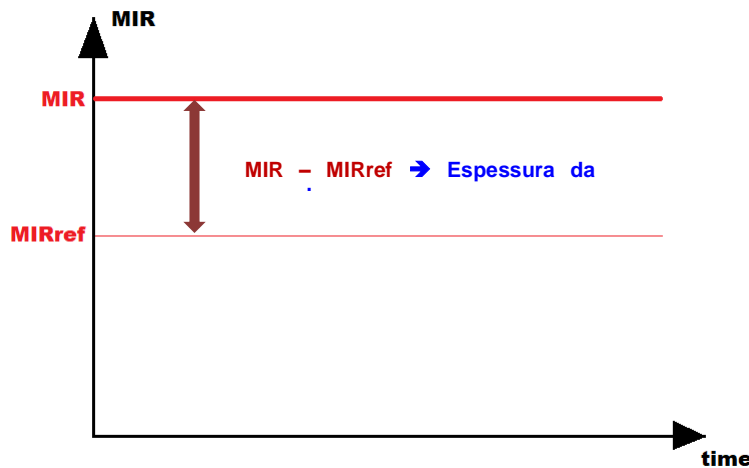
O sensor SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) dispõe de duas janelas de comprimento de onda para avaliar o sinal refletido. Sem camada de óleo, a absorção em ambas as janelas de comprimento de onda é aproximadamente comparável. Esse valor pode ser usado como um valor de referência para a superfície metálica desengordurada:  $MIR_{ref} = CH1 / (CH0 + CH1)$  corresponde ao valor de referência normalizado da superfície metálica sem camada de óleo, em que CH0 e CH1 são os sinais brutos determinados a partir das duas janelas de comprimento de onda.

Se a superfície de aço estiver agora umedecida com uma camada de óleo homogênea, o espectro MIR mostra um aumento no sinal MIR:

MIR spectrum in the presence of oil



O canal de medição CH0 (esquerda) detecta a absorção adicional causada pela camada de óleo, enquanto a janela de medição CH1 (direita) permanece em grande parte não afetada por isso.



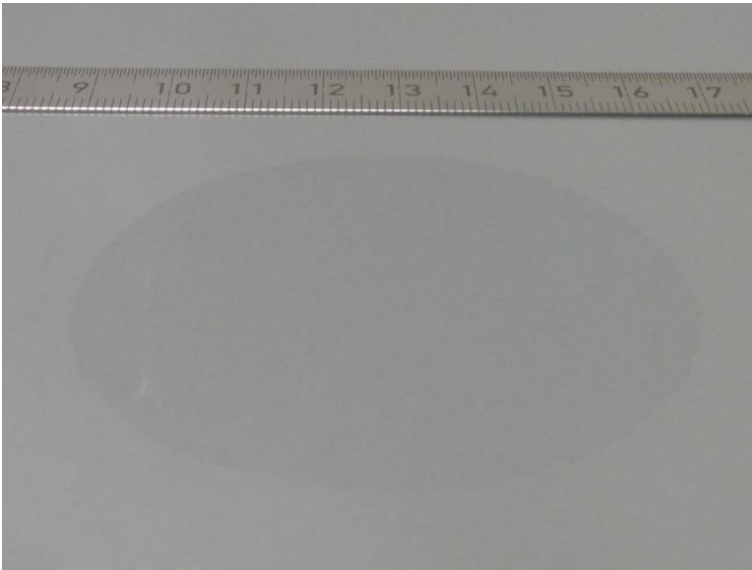
O valor de medição  $MIR = CH1 / (CH0 + CH1)$  se desloca para cima, devido à absorção adicional, na janela CH0. Quanto mais intensa for a absorção, ou seja, quanto mais espessa, por exemplo, a camada de óleo, tanto mais o valor MIR (sem camada de óleo) é do valor de referência MIR.

Com base nos diferentes óleos que foram investigados até agora, verificou-se que a absorção MIR depende não apenas da espessura da camada de óleo, mas também do tipo de óleo. Além disso, o fundo metálico refletivo influencia um pouco o resultado da medição, razão pela qual uma calibração deve ser realizada em relação ao respectivo tipo de óleo e fundo antes da determinação da espessura real da camada de óleo.

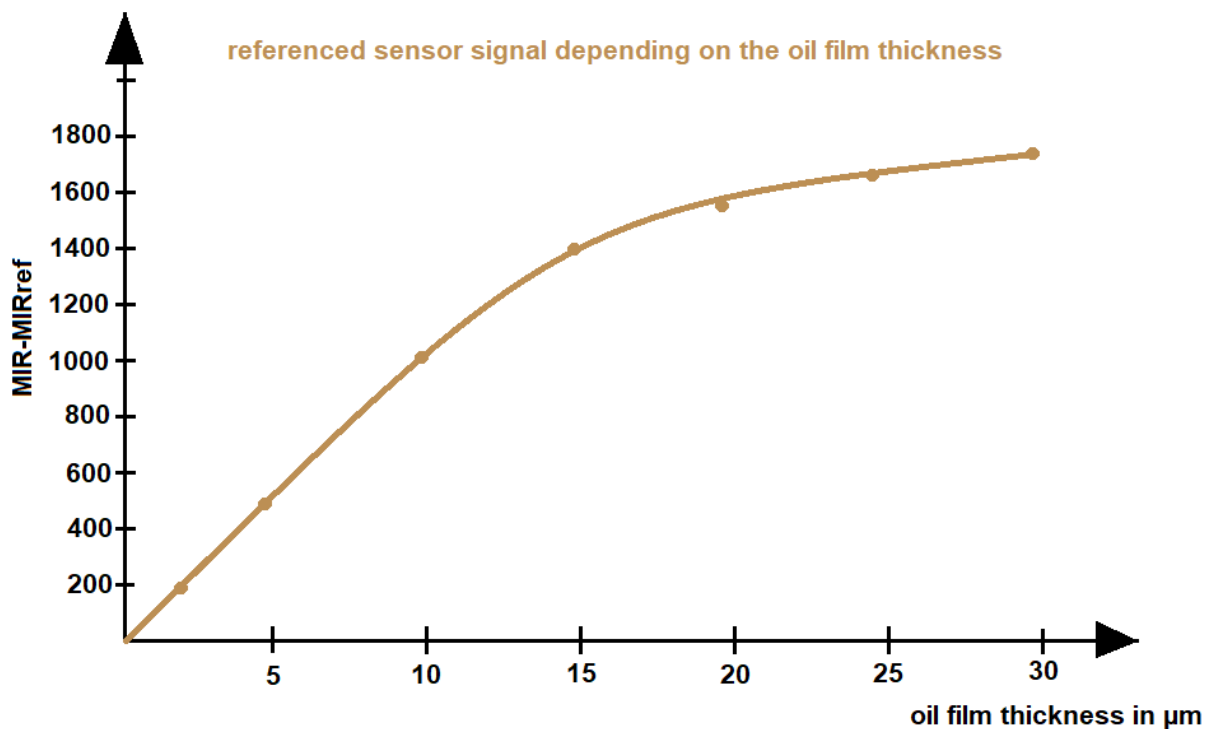
**Procedimento:** Para os testes, gotas de óleo com um volume de 20 µl de óleo foram aplicadas uma após a outra em uma superfície metálica desengraxada do mesmo tipo. A gota de óleo foi então espalhada homogênea com uma espátula em uma superfície com um diâmetro de 70 mm. Com isso, a espessura da camada pode agora ser calculada da seguinte forma: um volume de óleo de 20 µl, um diâmetro de mancha de óleo de 70 mm resulta em uma espessura de camada de aprox. 5 µm, com duas gotas (40 µl) correspondendo a 10 µm, com 3 gotas (60 µl) 15 µm, etc.



Após a preparação de amostras com a respectiva espessura de camada, a série de medição poderia começar. Primeiro, foi determinado o valor médio de fundo MIRref (em seções livres de óleo) entre as amostras de óleo. Após a calibração, o sensor **SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2)** foi posicionado nas várias superfícies da amostra em sequência e os valores de medição foram registrados em cada espessura de camada.



No final do processo, é obtida uma tabela de valores, que é mostrada como um diagrama a seguir:



Do diagrama se pode deduzir que a resolução do método de medição é de cerca de 10 nm (5000 nm/500 dígitos), a precisão da medição está na faixa de cerca de 50 nm. Até uma espessura de camada, o sinal MIR é quase linear à espessura da camada. O limite superior para a medição da espessura da camada MIR é de cerca de 15  $\mu\text{m}$  para o óleo medido.

Para uma medição em linha, basta remover o distanciador e pronto! Além das saídas digitais e analógicas, a tecnologia de sensores também terá, no futuro, barramento de campo opcional. O sistema pode ser facilmente parametrizado e monitorado usando o software Windows® MIR Scope V1.0. A distância do sensor até a superfície do objeto é tipicamente 10mm, o alcance de detecção é de cerca de 10mm de diâmetro. Para objetos de medição menores, são usados painéis de fixação, que limitam a faixa de medição em conformidade. Como o sistema de medição geralmente opera no modo CC, podem ser atingidos ciclos de medição de até 10 kHz.

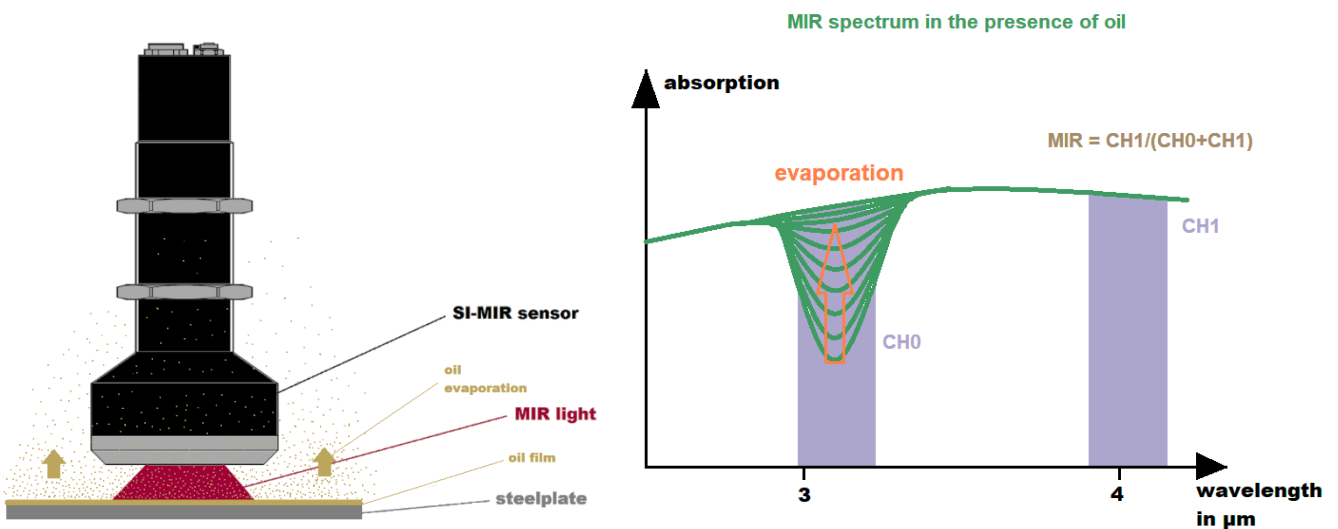
### 5.7 Medição da evaporação de aplicações de óleo

Os óleos de perfuração e estiragem estão sendo cada vez mais utilizados na fabricação de peças perfuradas e dobradas, que supostamente evaporam após um certo tempo. A ideia aqui é deixar o menor resíduo de óleo possível em peças metálicas estampadas ou formadas, de modo que em muitos casos o processo de limpeza não seja necessário quando as peças metálicas forem processadas posteriormente. Mas quanto do óleo aplicado permanece realmente no componente e quanto tempo leva o processo de evaporação?

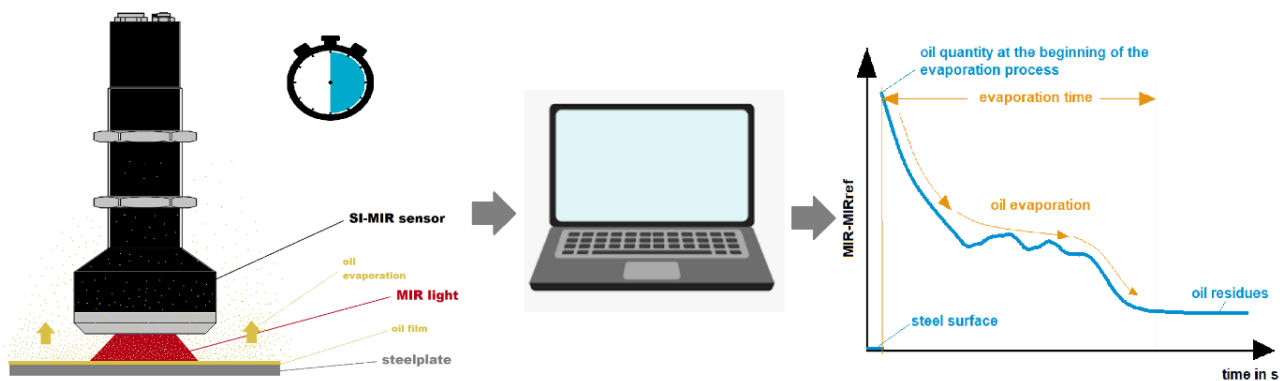
Para a medição da evaporação, foram aplicadas 5 gotas de óleo (5x20 µl) em cada uma das chapas de aço desengraxadas e as espalhamos sobre uma superfície com um diâmetro de 70 mm.

A espessura da camada de óleo no início do processo de medição era de cerca de 25 µm. Em seguida, o sensor **SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2)** foi colocado no centro da mancha de óleo e a medição foi iniciada.

Espectro MIR imediatamente após a aplicação da camada de óleo de 25 µm de espessura. A faixa de comprimento de onda CH0 é influenciada pela presença de óleo, enquanto que na faixa de comprimento de onda CH1 não é observada qualquer diminuição do sinal.

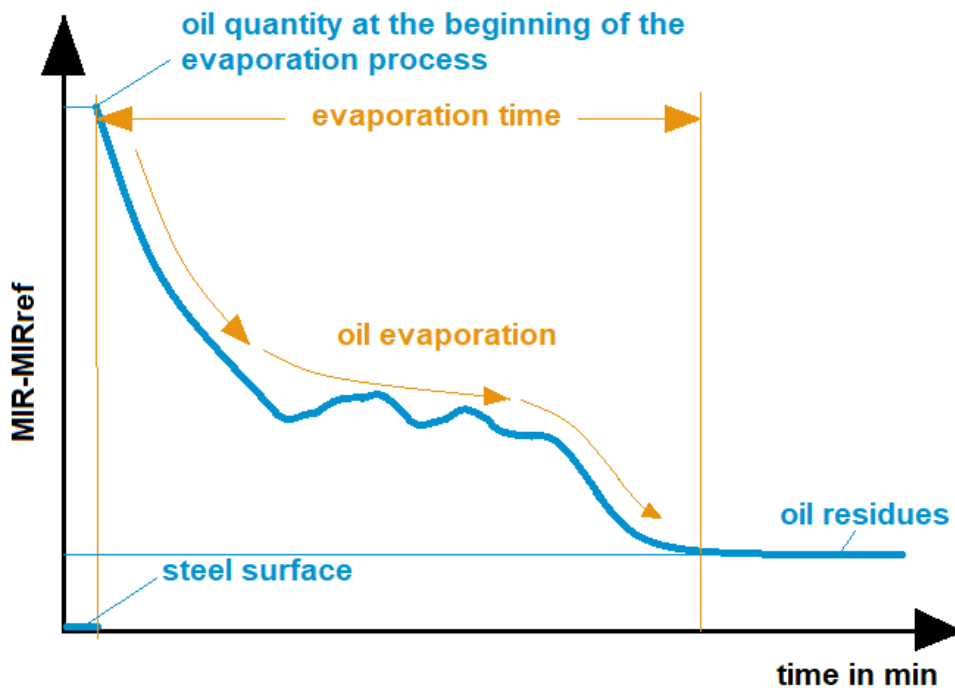


Sinal MIR em movimento rápido: a redução do sinal em CH0 causado pelo óleo diminui com o aumento da evaporação do óleo.



Durante um período de algumas horas, o valor MIR normalizado menos o sinal de referência normalizado MIRref (MIR-MIRref) foi gravado com o software Windows® MIR Scope V1.0:

Para todas as amostras de óleo testadas, foi possível determinar um curso semelhante, como mostrado no diagrama a seguir:



O tempo de evaporação estava na faixa de 60 min. a 90 min. O resíduo de óleo era tipicamente 1 % da espessura da camada original para a amostra mais evaporada e 50 % da espessura da camada original de óleo para a amostra menos evaporada.

O método de medição permite que o tempo de evaporação dos óleos seja testado rápida e facilmente, a partir de espessuras de camadas definidas. O sinal residual que permanece mensurável após o sinal MIR ter se estabelecido a um estado estável indica resíduos orgânicos na superfície que permanecem após o processo de evaporação.

A função Recorder do software SPECTRO MIR Scope do sensor SPECTRO-M permite a detecção e registro contínuos dos valores de medição como um arquivo ASCII, que pode então ser exportado para um programa de cálculo de tabelas para avaliação.

## 6 Medições de teste na série CLF 11

Em uma série de testes separada, os óleos de perfuração da série CLF 11 da empresa Raziol Zibulla & Sohn GmbH foram examinados. Os resultados da série de testes estão resumidos nas páginas seguintes.

### 6.1 Metodologia de teste e método de referência

O método de "tinta vermelha" com tintas de teste da empresa arcotest ([www.arcotest.de](http://www.arcotest.de)) foi utilizado como método de referência.

O óleo a ser testado foi aplicado sobre uma placa de metal desengraxada (p.ex., GARDOBOND da Chemetall) e depois a tinta de teste de uma certa tensão superficial (indicada no frasco, p.ex., 38 mN/m) foi aplicada sobre a superfície do óleo utilizando um pincel contido no frasco.

Se a tinta de teste rolar para fora, se continua com o próximo valor de tensão superficial inferior até que a tinta de teste aplicada umedeça a superfície de óleo. O valor da tensão superficial indicado no frasco de tinta de teste corresponde, então, aproximadamente à tensão superficial da superfície do metal, incluindo a camada de óleo.

Quanto mais fina for a camada de óleo, maior será a tensão superficial para o tipo de óleo utilizado.

Para uma série de testes foi necessário aplicar o óleo respectivo o mais fino possível na superfície do metal desengraxado e depois esfregá-lo o mais intensamente possível na superfície do metal com um pano sem fiapos. O óleo foi distribuído de forma homogênea sobre um diâmetro de aproximadamente 70 mm.

Normalmente, são alcançadas as espessuras da camada de óleo na faixa entre 0,1  $\mu\text{m}$  e 3  $\mu\text{m}$ , dependendo do tipo de distribuição: 1x fricção, 2x fricção, 3x fricção com uma quantidade de óleo de 20  $\mu\text{l}$  (1 gota), 40  $\mu\text{l}$  (2 gotas), 60  $\mu\text{l}$  3 gotas. O óleo é aplicado por meio de uma pipeta, então, dependendo da espessura da camada requerida, o óleo é esfregado (para espessuras de camada entre 0,1  $\mu\text{m}$  e 3  $\mu\text{m}$ ) como já descrito, espalhado (para camadas de 1  $\mu\text{m}$  a 10  $\mu\text{m}$ ) ou se deixa correr (para camadas de 5  $\mu\text{m}$  a 50  $\mu\text{m}$ ). Também com esses dois últimos métodos, a quantidade de óleo é distribuída sobre um diâmetro de aproximadamente 70 mm. Para cada medição, foi utilizada uma chapa de aço desengraxada e, dependendo do procedimento, um pano novo sem fiapos, assim como uma espátula plástica não utilizada. Além disso, uma placa de teste desengraxada da empresa Chemetall



tipo GARDOBOND foi usada para cada amostra. A espessura da camada foi determinada pelo diâmetro e pelo volume de óleo (aprox. 20 µl por gota). O cálculo é uma primeira estimativa, pois nem o diâmetro nem a quantidade de óleo puderam ser determinados com exatidão. Além disso, as amostras de teste estavam evaporando óleos de perfuração e estiragem, ou seja, uma certa quantidade de encolhimento já ocorria desde o início da aplicação! Apesar do uso de uma inserção de lâmina plástica, não foi possível evitar completamente a aderência de óleo residual à lâmina plástica em vez da superfície de aço. Como a quantidade de óleo havia escorrido, maiores quantidades de evaporação tiveram que ser aceitas, uma vez que o processo de escoamento demorou mais do que o espalhamento. Ao esfregar a quantidade de óleo usando um pano sem fiapos, a maior parte do óleo ficou presa ao pano. Entretanto, o cálculo da espessura da camada não é mais possível.

Para nossa aplicação, utilizamos placas de aço apropriadas, assim como placas de alumínio com a propriedade de superfície **desengraxada**.

A tensão superficial, determinada pelo método de tinta de teste, provavelmente estará além de 50 mN/m em uma superfície de placa de teste GARDOBOND® ainda não em uso, uma vez que não foi possível observar nenhum rolamento de tinta da superfície de aço mesmo com a tinta de teste mais alta (50 mN/m).



## 6.2 Especificações do fabricante para a série CLF 11

De acordo com a empresa Raziol Zibulla & Sohn GmbH, a série CLF 11 são óleos de perfuração e estiragem de evaporação rápida:

"Todos os produtos Raziol CLF 11 ... W contêm um aditivo de proteção anticorrosiva temporária para armazenamento interno. Os produtos mencionados evaporam em um tempo relativamente curto, dependendo do teor aditivo. A aditivação permanece na superfície da peça de trabalho".



Além disso, a Raziol Zibulla & Sohn GmbH recomenda o uso da série CLF 11 nas seguintes aplicações (excerto de: [www.raziol.com](http://www.raziol.com) )

## Anwendung der Raziol CLF 11 Reihe

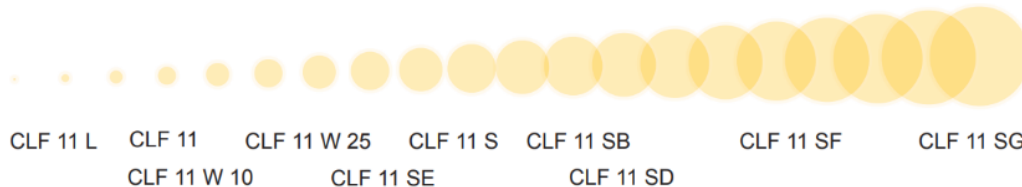
- z.B bei der Herstellung von Elektrokontakten, von Stanz- und Biegeteilen, Federn, Drähten, Uhren, Metallwaren, von Dichtungselementen sowie von weißer Ware und Elementen der Kommunikationstechnik
- für Fertigungsteile geeignet auf denen möglichst wenig Rückstand verbleiben soll
- oftmals können Nachfolgeprozesse 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

Sobre o comportamento dos resíduos, se pode ler o seguinte ([www.raziol.com](http://www.raziol.com)):

### Rückstandsverhalten

gering < <

> > hoch



### Foram testados os seguintes óleos:

- 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

### Os critérios de análise foram:



- Tempo de evaporação dos componentes voláteis contidos no óleo
- Correlação entre a espessura da camada de óleo e o sinal normalizado medido
- Sinal normalizado do sensor em função da tensão superficial (sistema de referência)

### 6.3 Raziol CLF 11 L

#### 6.3.1 Tempo de evaporação dos componentes voláteis contidos no óleo

Para o efeito, 5 gotas de óleo (aprox. 100 µl) foram aplicadas na superfície de aço desengraxado e, em seguida, se deixou correr a quantidade de óleo para se espalhar até um diâmetro de aprox. 70 mm. Esse processo durou aprox. 5 minutos. Independentemente de um possível desvio do volume de óleo de 100 µl, do desvio dos 70 mm de diâmetro e da quantidade de óleo que se evaporou durante a aplicação no espaço dos 5 minutos, se chega matematicamente a uma espessura de camada de óleo de aprox. 25 µm. O tempo de evaporação  $T_v$  determinado com o sistema de sensores, ou seja, o tempo em que os componentes voláteis escaparam do óleo, foi de 72 minutos. A quantidade de resíduos de óleo, ou seja, a quantidade de óleo ainda na superfície do aço após esse tempo, foi de 1 % da quantidade de óleo originalmente aplicada:

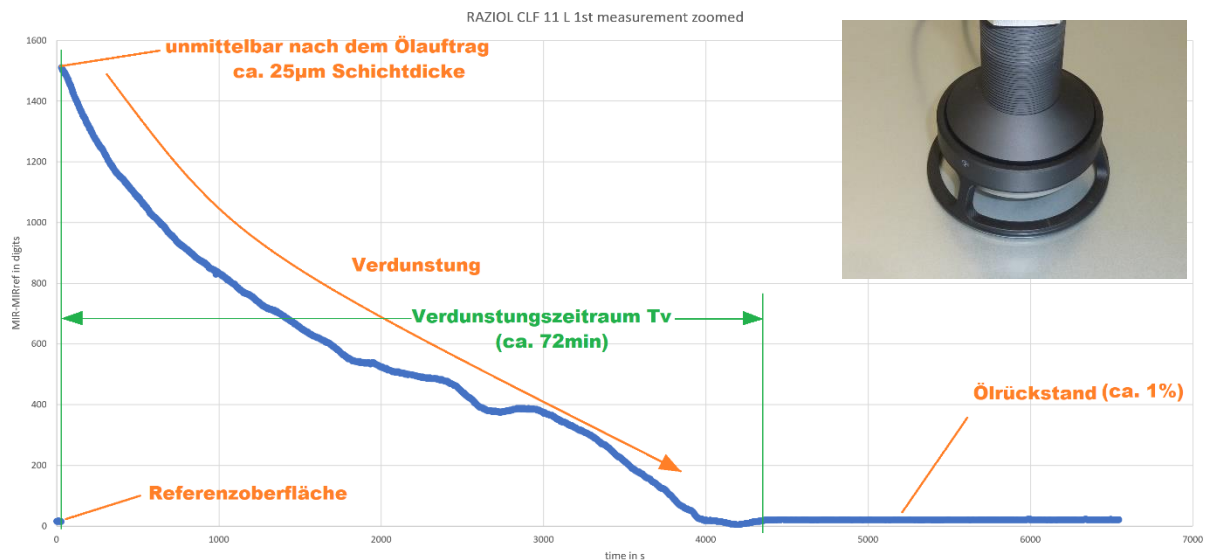
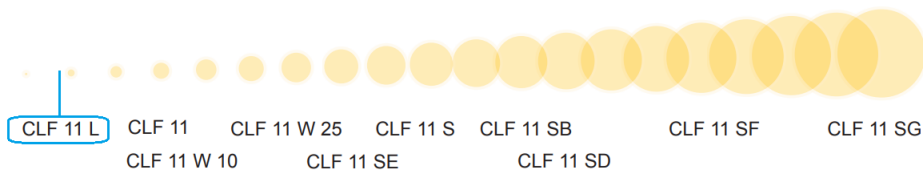
- Tempo de evaporação: 72 min.
- Quantidade de resíduos de óleo: 1 %

## CLF 11 L

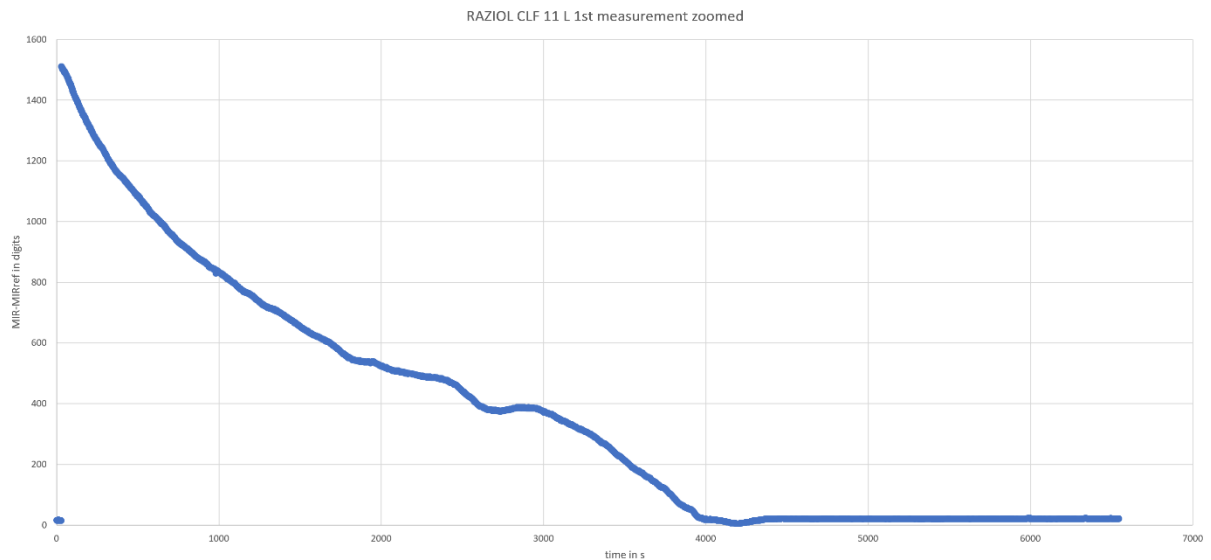
### Rückstandsverhalten

gering < <

> > hoch

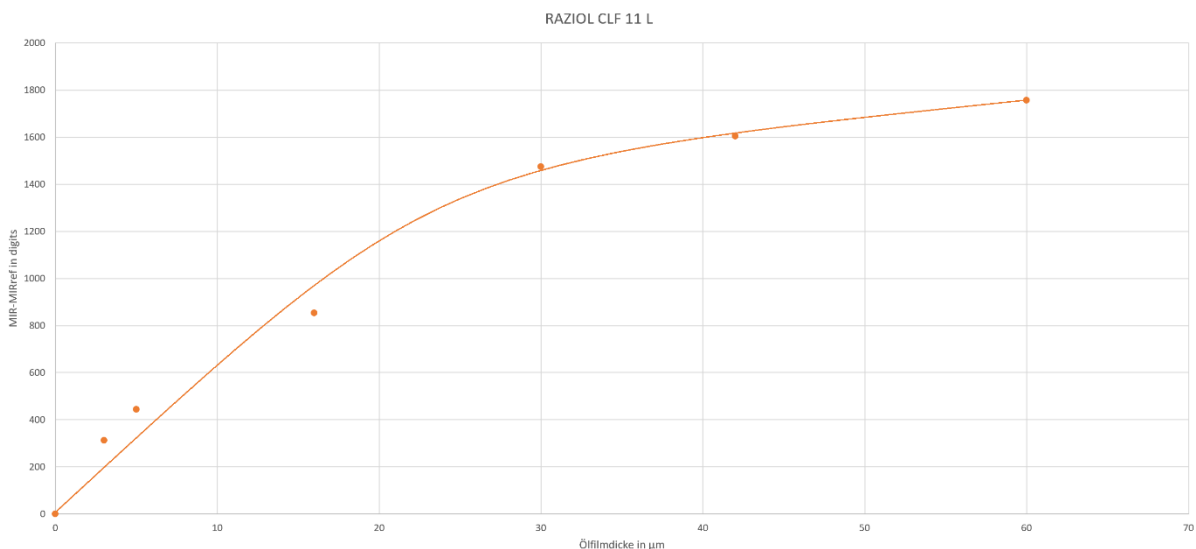


Schichtdicke	MIR	MIR-MIRref	ROTE TINTE	Anzahl	Ölfleck	Schichtdicke	Ölmenge
in $\mu\text{m}$	NORM in digits	deltaNORM in digits	in mN/m	Tropfen	Durchmesser in mm	in $\mu\text{m}$	in $\mu\text{l}$
3	2518	312		0,5	70	3	10
5	2650	444		1	75	5	20
16	3060	854		3	70	16	60
30	3680	1474		5	65	30	100
42	3810	1604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



### 6.3.2 Correlação entre a espessura da camada de óleo e o sinal normalizado medido

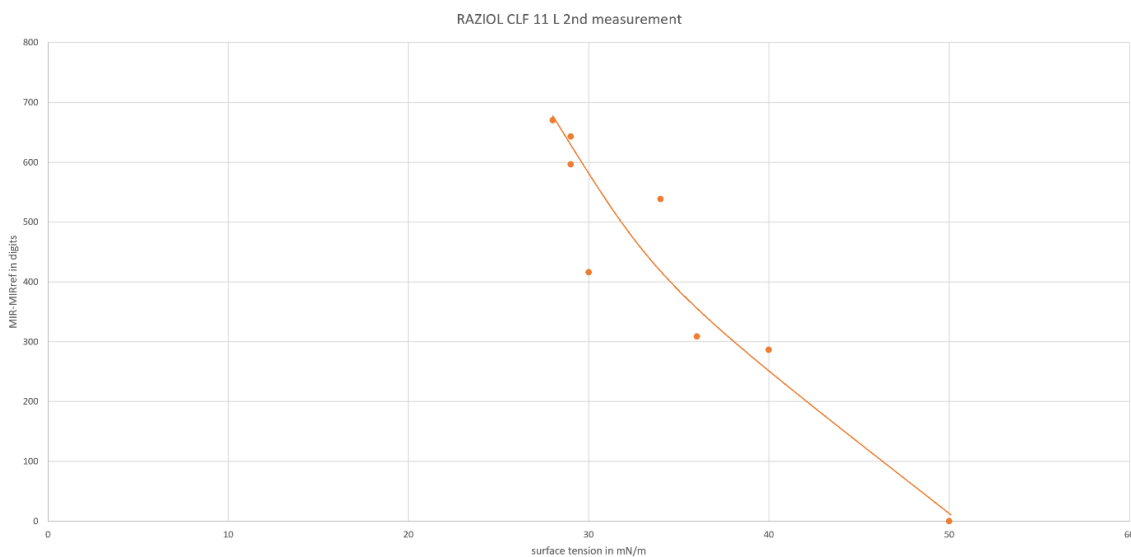
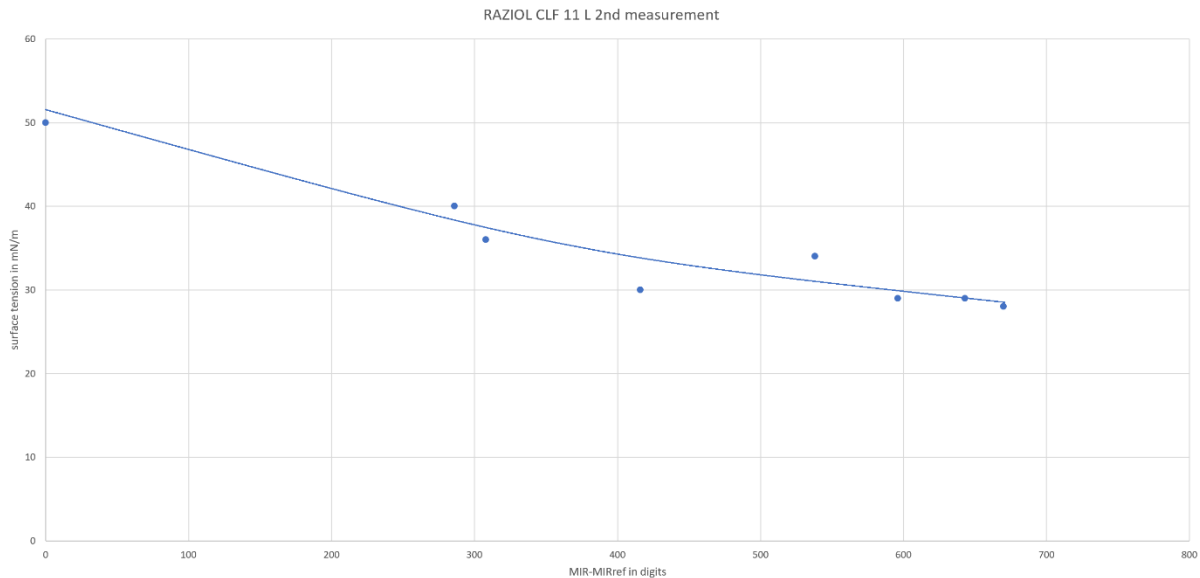
Em cada caso, gotas de óleo foram aplicadas sobre uma superfície de aço desengraxada e depois deixadas escorrer ou, no caso de um pequeno número de gotas, a quantidade de óleo também foi espalhada com uma espátula de plástico, de modo que a quantidade de óleo fosse distribuída aproximadamente sobre uma superfície com um diâmetro de 70 mm.



### 6.3.3 Sinal normalizado do sensor em função da tensão superficial

Para o efeito, um certo número de gotas de óleo foi aplicado a uma superfície de aço desengraxada em cada caso, e em seguida a quantidade de óleo foi esfregada com um pano sem fiapos um número diferente de vezes. Posteriormente, os valores de medição foram determinados primeiro usando o sensor SPECTRO-M, seguidos pela determinação da tensão superficial usando a tinta vermelha de teste.

ROTE TINTE in mN/m	MIR 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



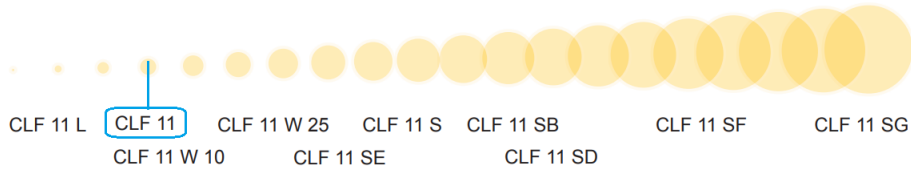
## 6.4 Raziol CLF 11

### CLF 11

#### Rückstandsverhalten

gering < <

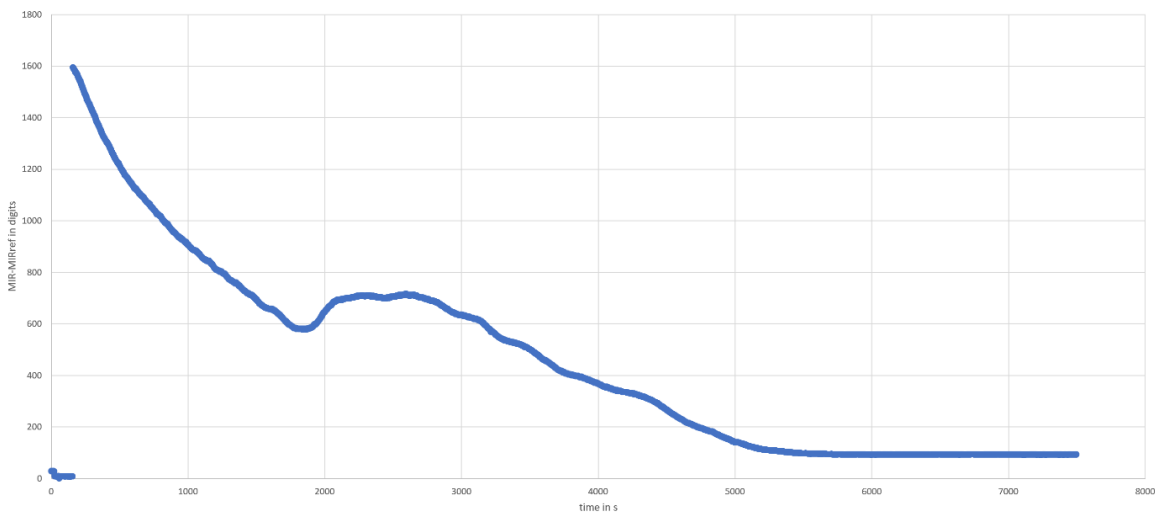
> > hoch



#### 6.4.1 Tempo de evaporação dos componentes voláteis contidos no óleo

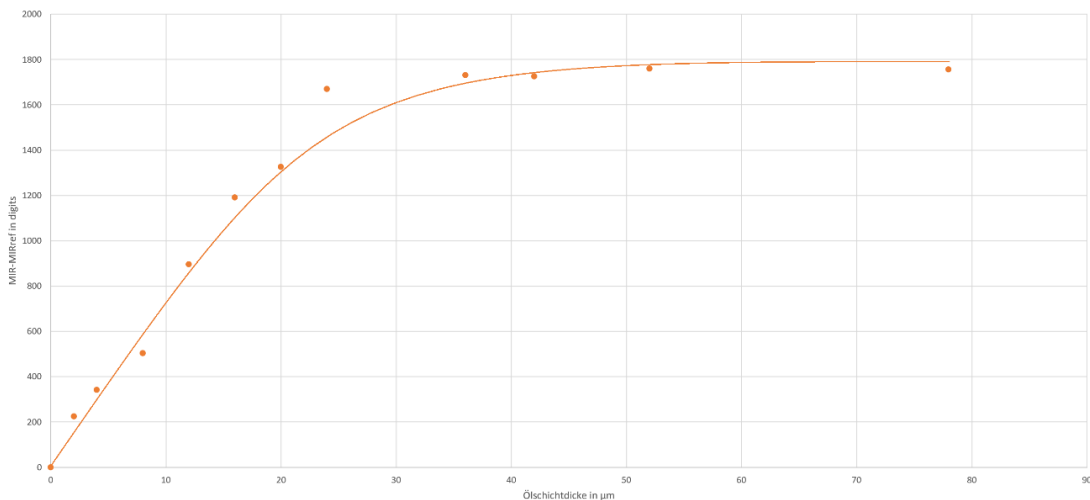
- Tempo de evaporação: aprox. 90 min.
- Quantidade de resíduos de óleo: aprox. 6 %

RAZIOL CLF 11 1st measurement zoomed

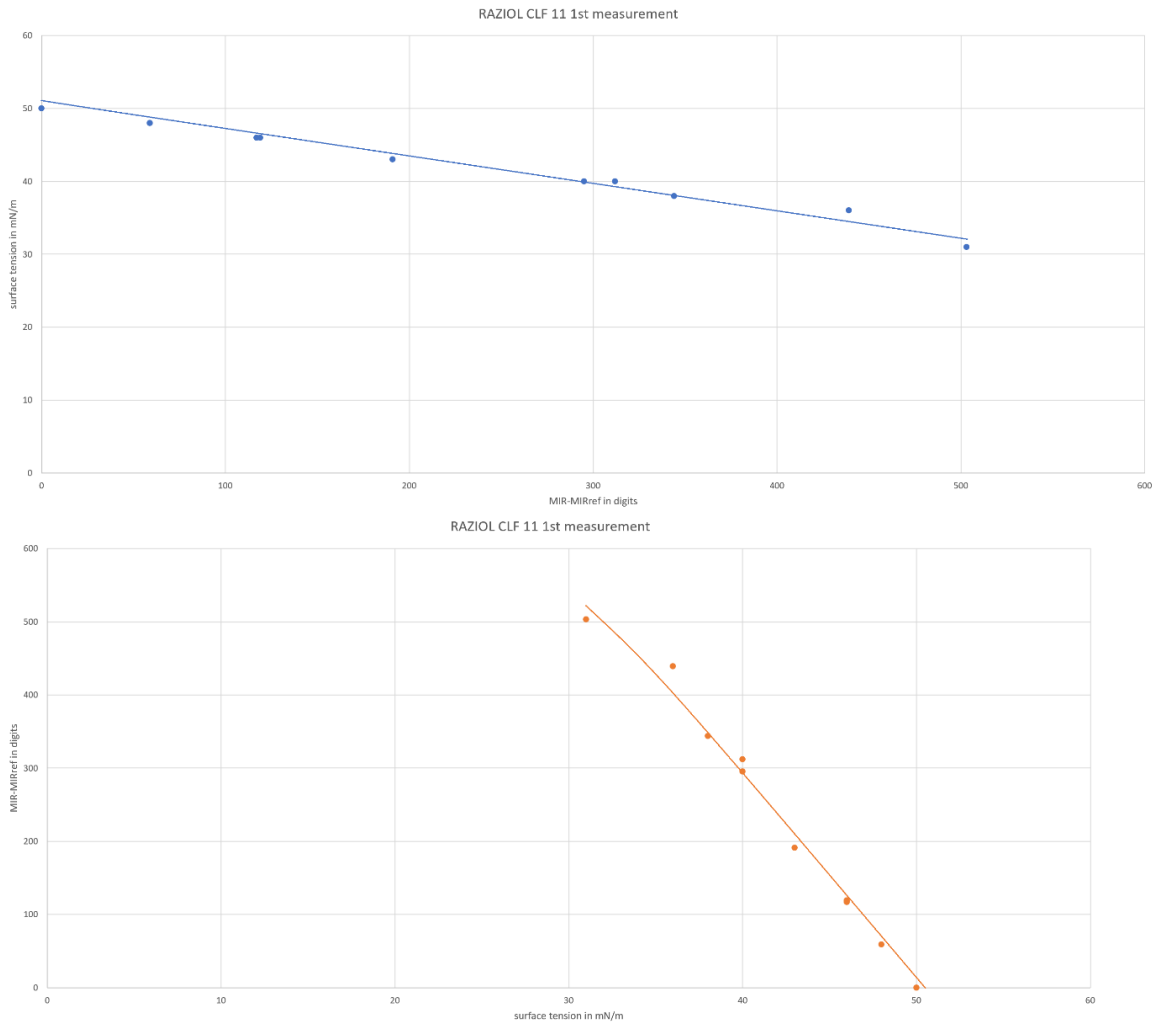


#### 6.4.2 Correlação entre a espessura da camada de óleo e o sinal normalizado medido

RAZIOL CLF 11



### 6.4.3 Sinal normalizado do sensor em função da tensão superficial



## 6.5 Raziol CLF 11 W 10

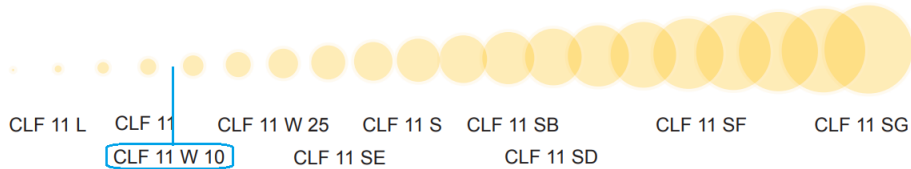
### 6.5.1 Tempo de evaporação dos componentes voláteis contidos no óleo

# CLF 11 W 10

## Rückstandsverhalten

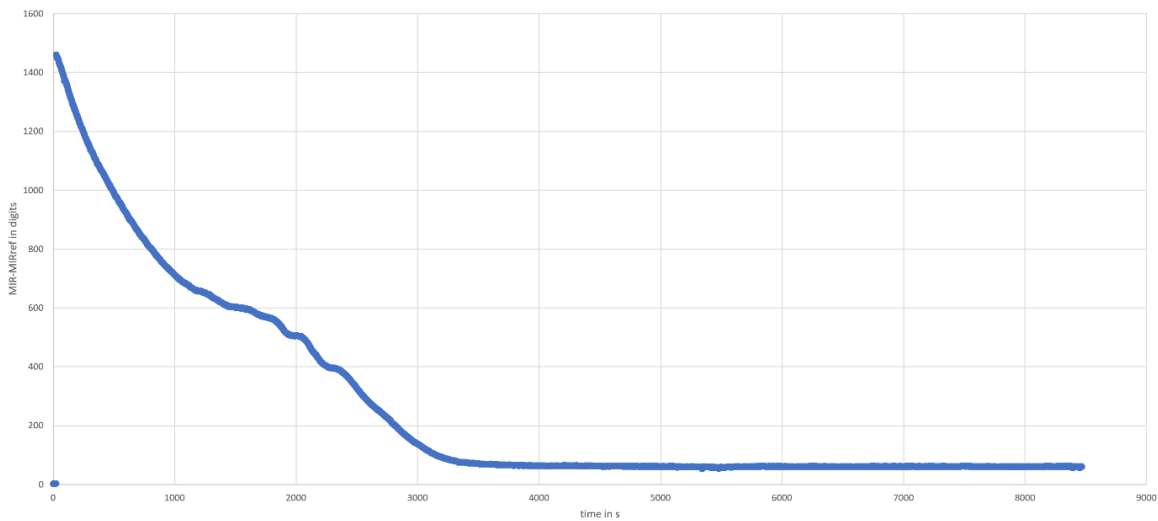
gering < <

> > hoch

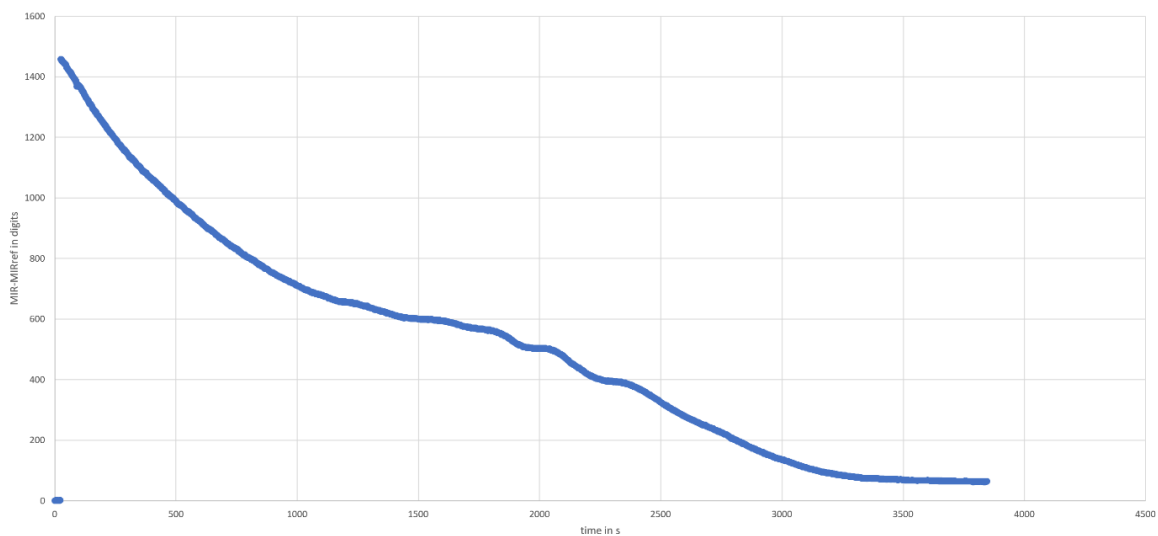


- Tempo de evaporação: aprox. 62 min.
- Quantidade de resíduos de óleo: aprox. 5 %

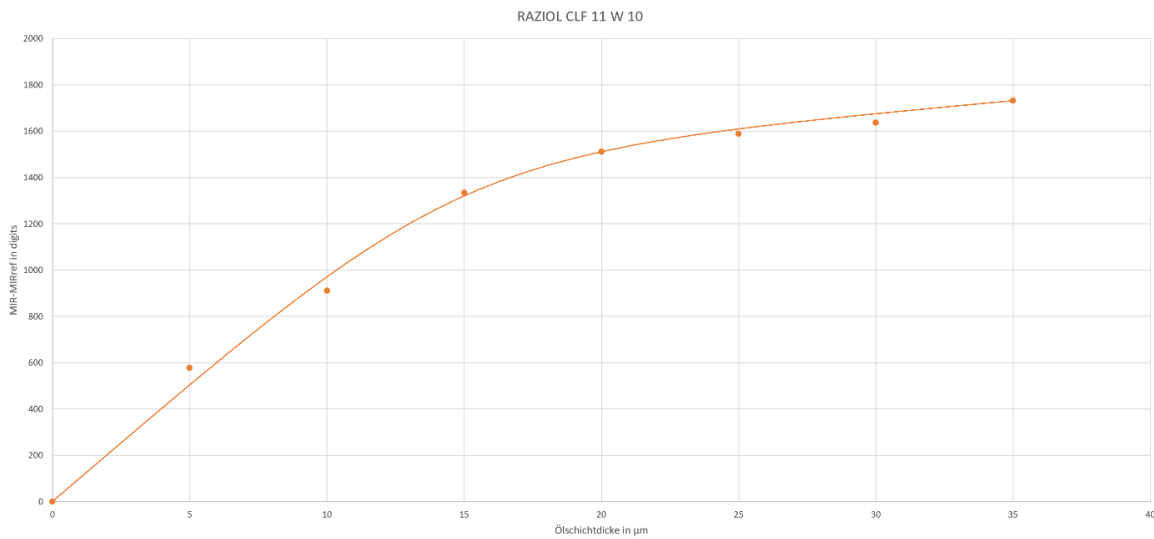
RAZIOL CLF 11 W 10 1st measurement



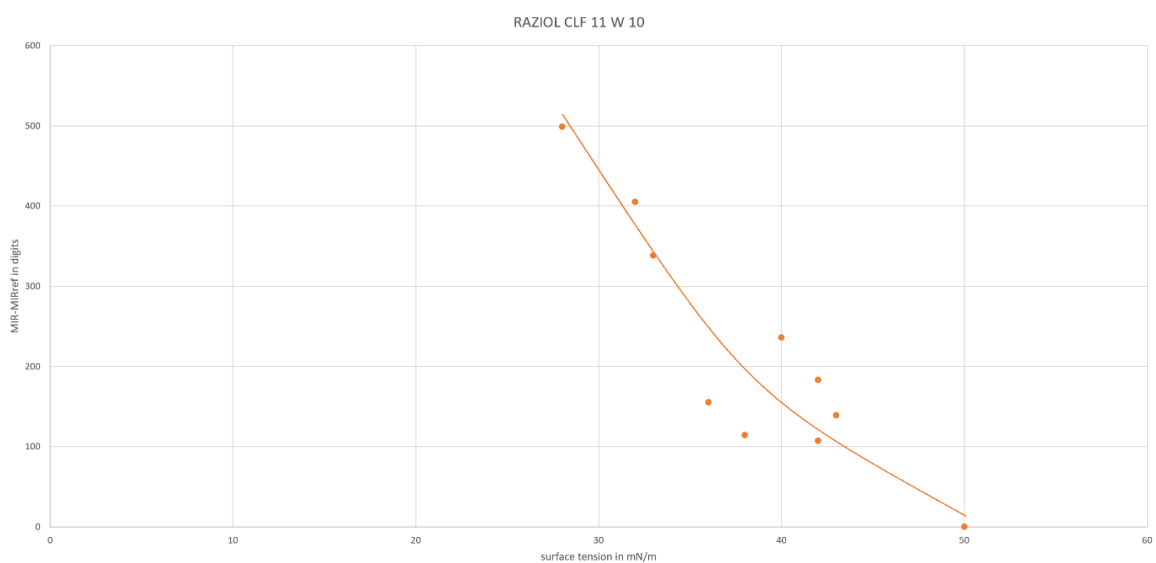
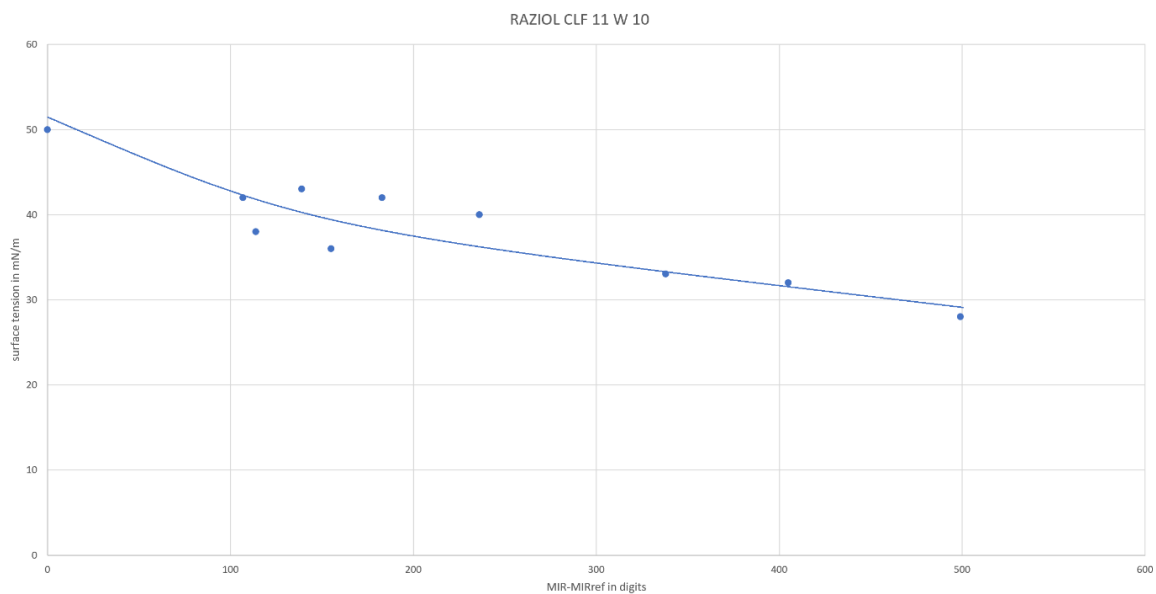
RAZIOL CLF 11 W 10 1st measurement zoomed



### 6.5.2 Correlação entre a espessura da camada de óleo e o sinal normalizado medido



### 6.5.3 Sinal normalizado do sensor em função da tensão superficial





## 6.6 Raziol CLF 11 W 25

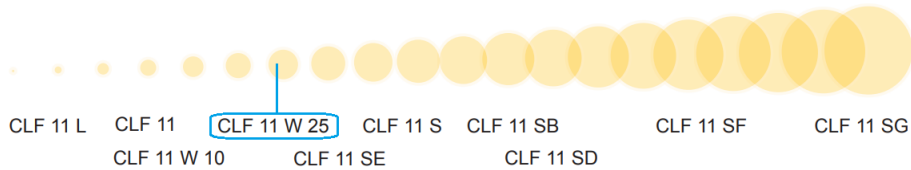
### 6.6.1 Tempo de evaporação dos componentes voláteis contidos no óleo

## CLF 11 W 25

### Rückstandsverhalten

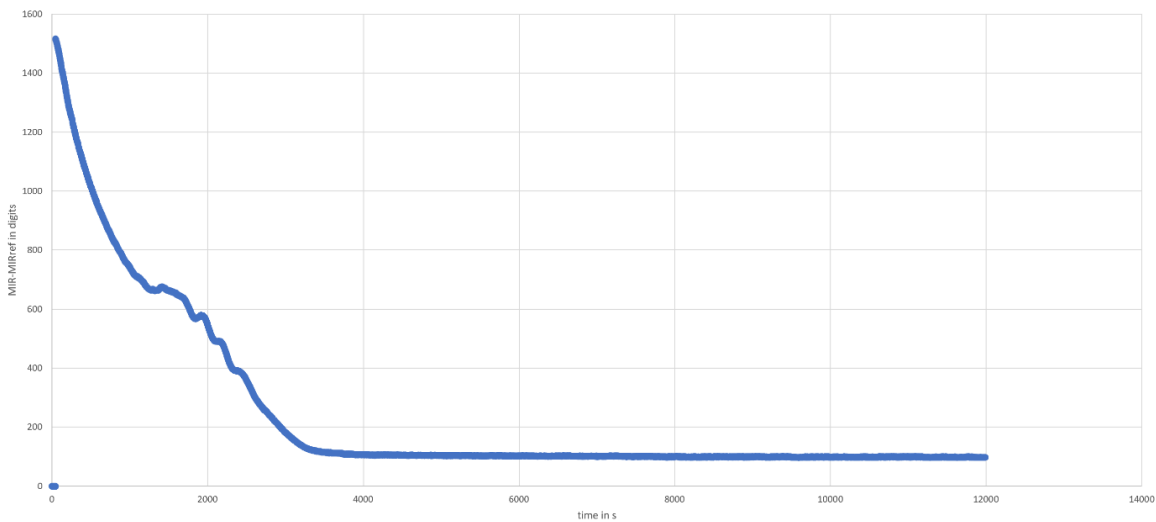
gering < <

> > hoch

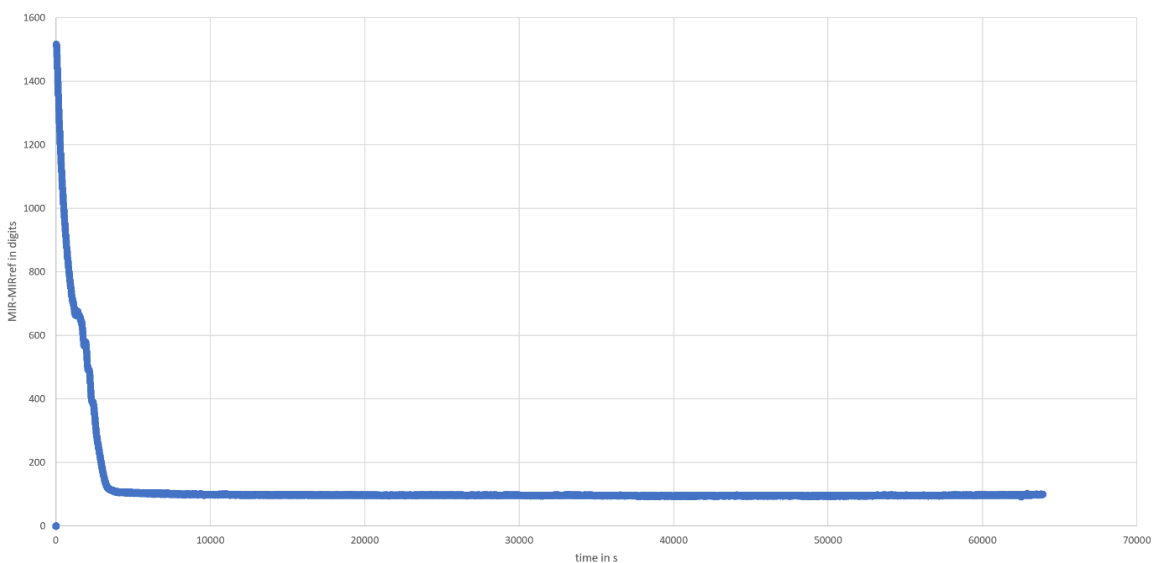


- Tempo de evaporação: aprox. 58 min.
- Quantidade de resíduos de óleo: aprox. 7 %

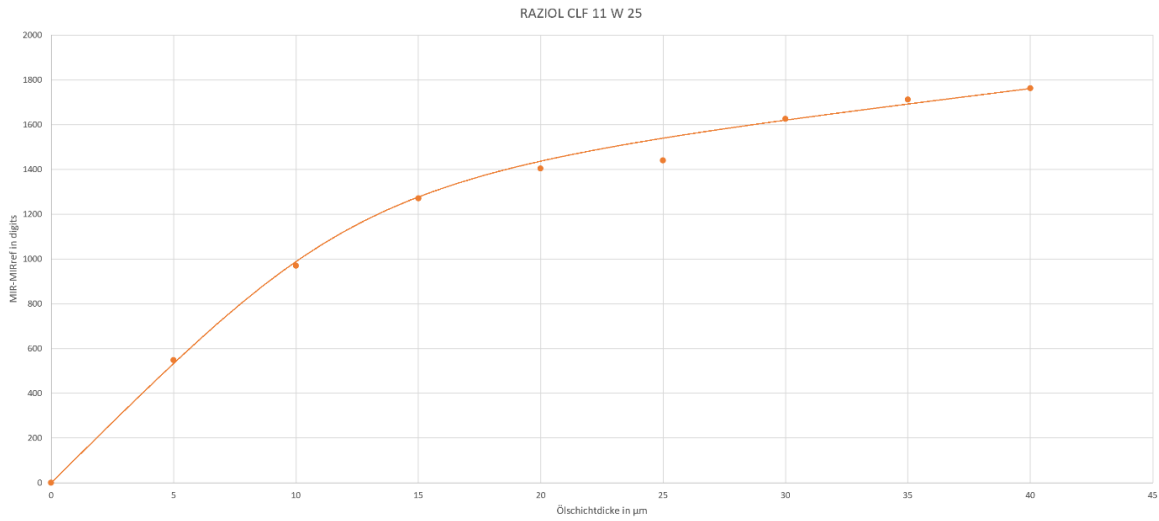
RAZIOL CLF 11 W 25 2nd measurement zoomed



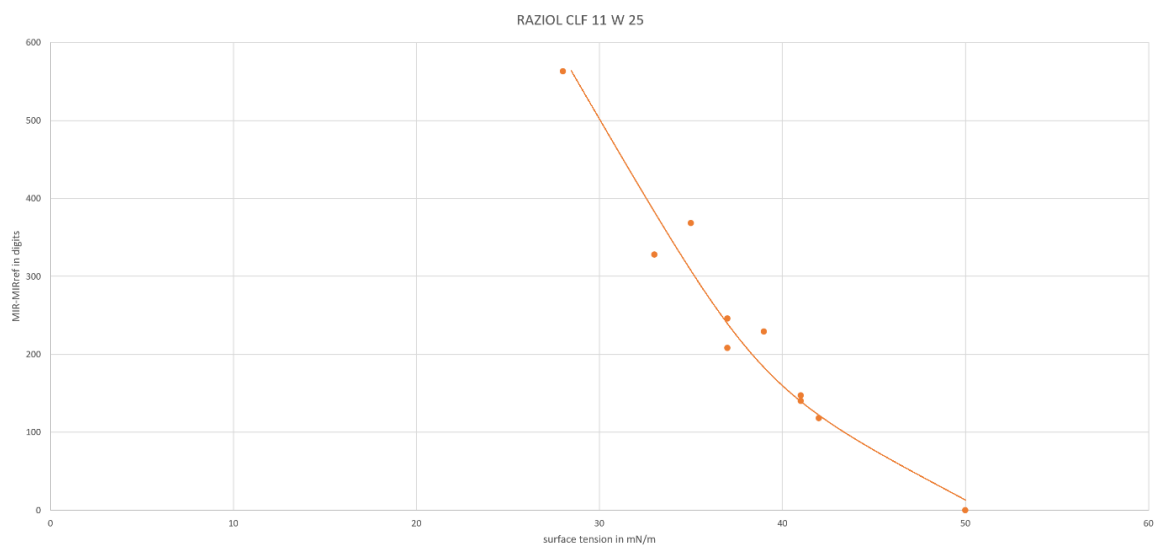
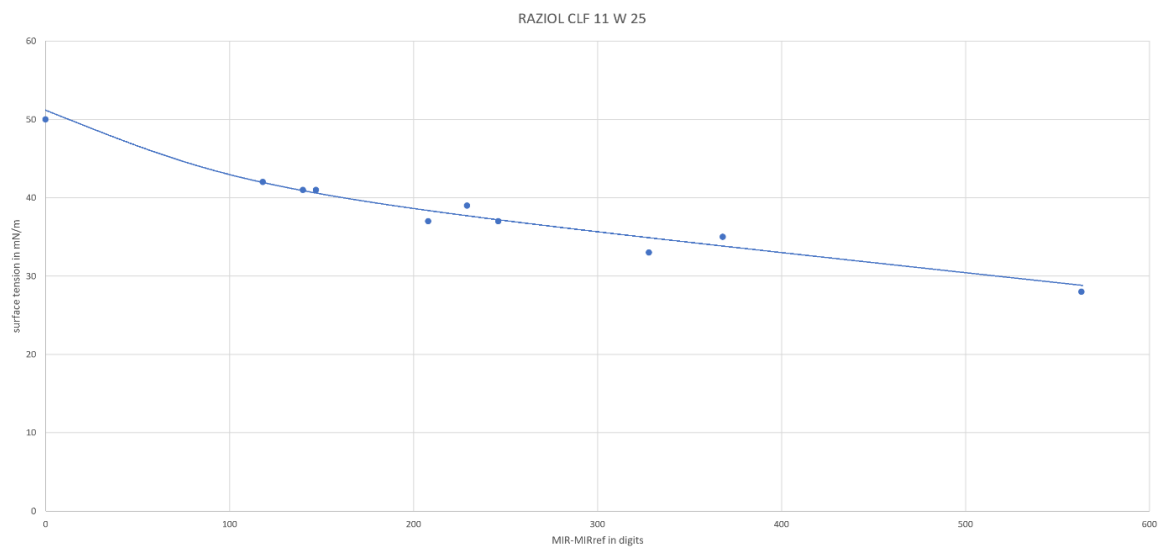
RAZIOL CLF 11 W 25 2nd measurement



### 6.6.2 Correlação entre a espessura da camada de óleo e o sinal normalizado medido



### 6.6.3 Sinal normalizado do sensor em função da tensão superficial



## 6.7 Raziol CLF 11 SE

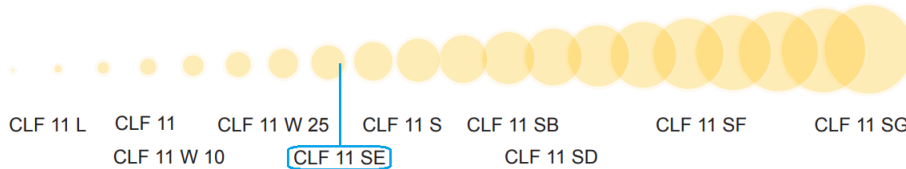
### 6.7.1 Tempo de evaporação dos componentes voláteis contidos no óleo

## CLF 11 SE

### Rückstandsverhalten

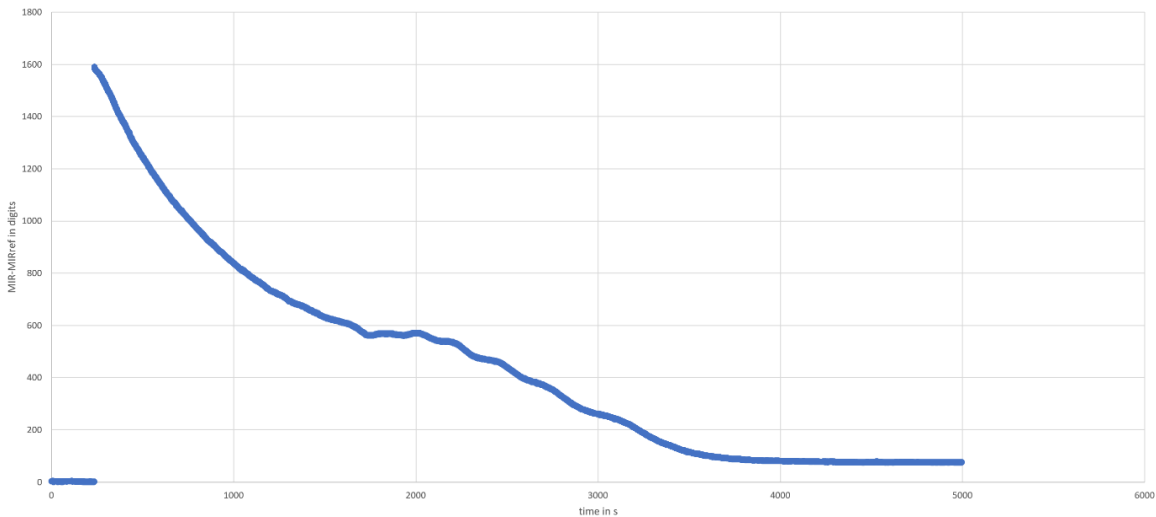
gering < <

> > hoch

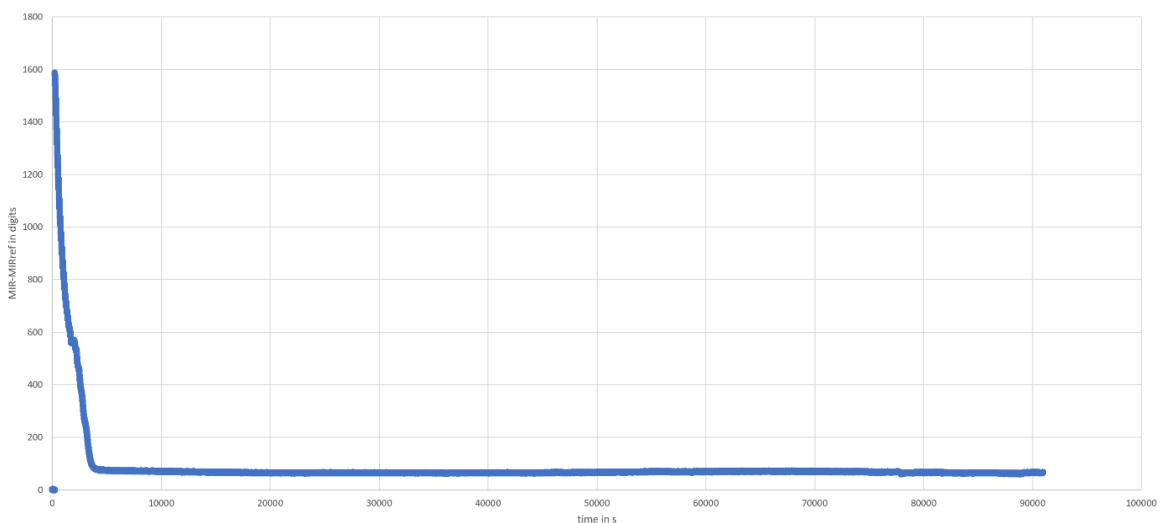


- Tempo de evaporação: aprox. 60 min.
- Quantidade de resíduos de óleo: aprox. 5 %

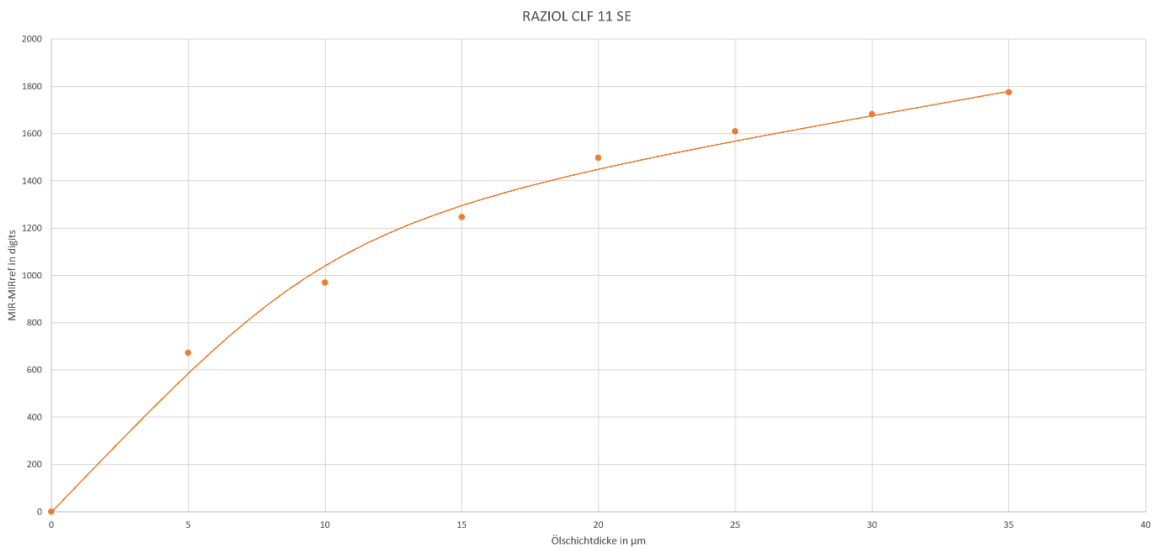
RAZIOL CLF 11 SE 1st measurement zoomed



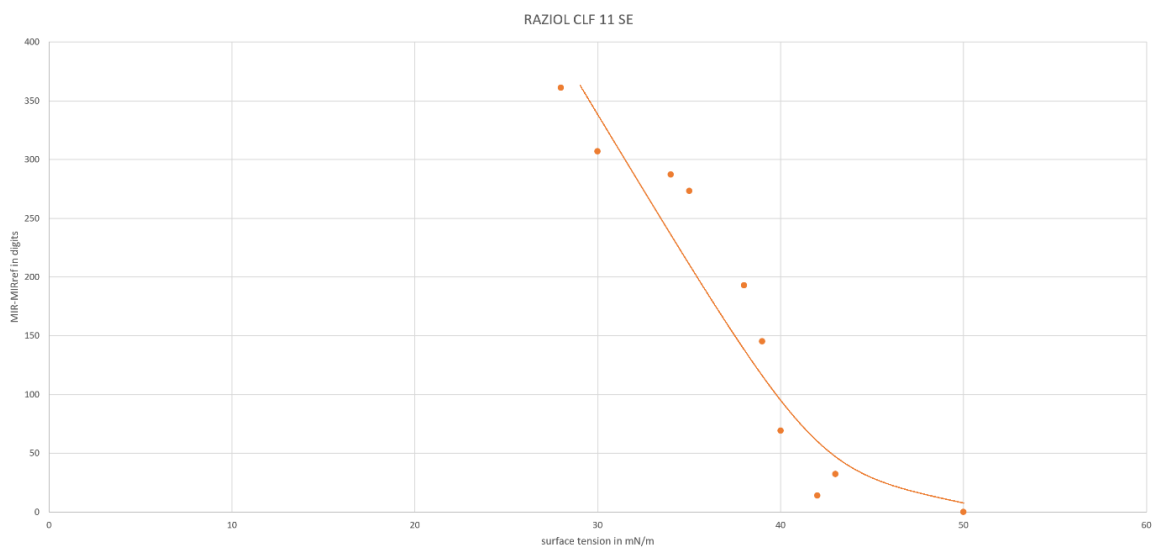
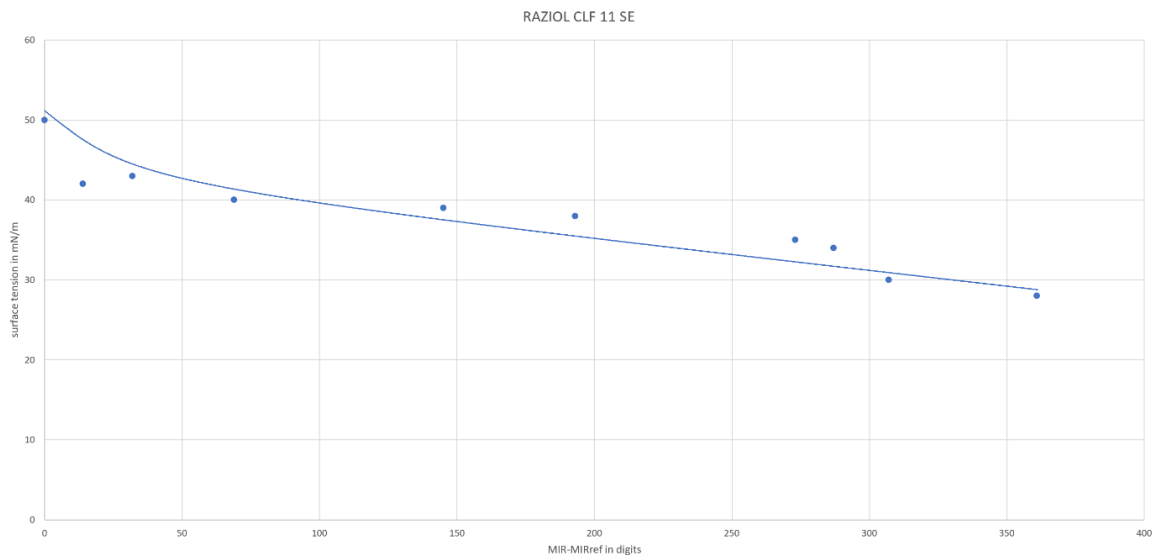
RAZIOL CLF 11 SE 1st measurement



### 6.7.2 Correlação entre a espessura da camada de óleo e o sinal normalizado medido



### 6.7.3 Sinal normalizado do sensor em função da tensão superficial



## 6.8 Raziol CLF 11 S

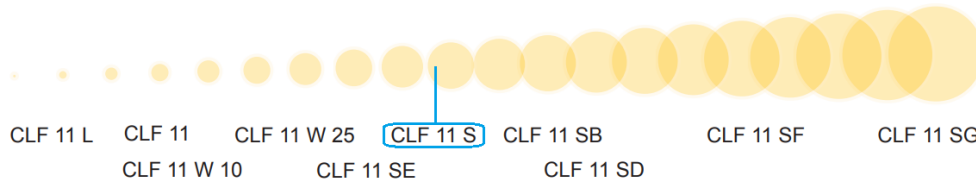
### 6.8.1 Tempo de evaporação dos componentes voláteis contidos no óleo

# CLF 11 S

## Rückstandsverhalten

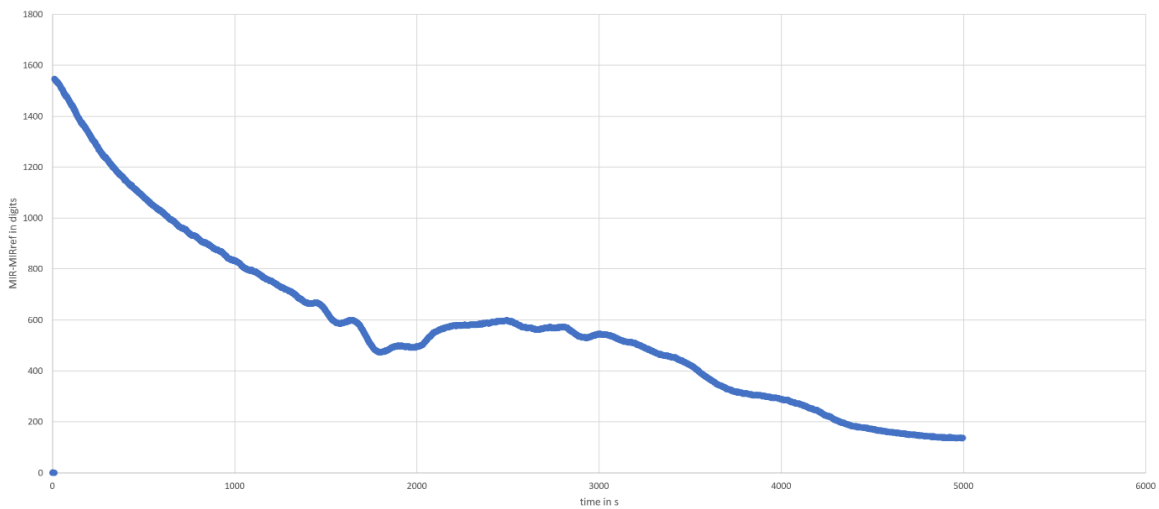
gering < <

> > hoch

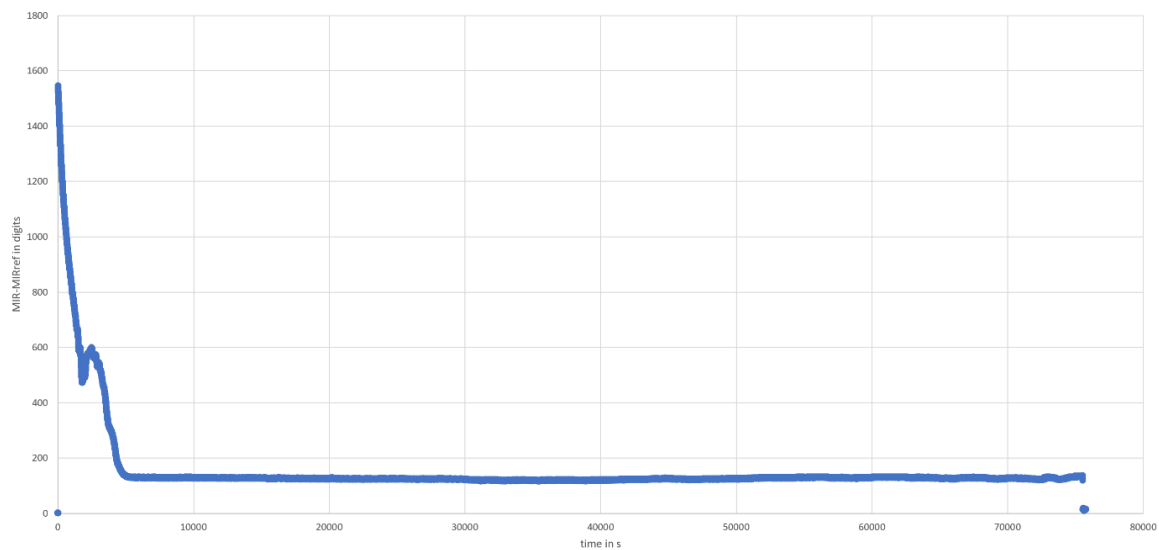


- Tempo de evaporação: aprox. 83 min.
- Quantidade de resíduos de óleo: aprox. 10 %

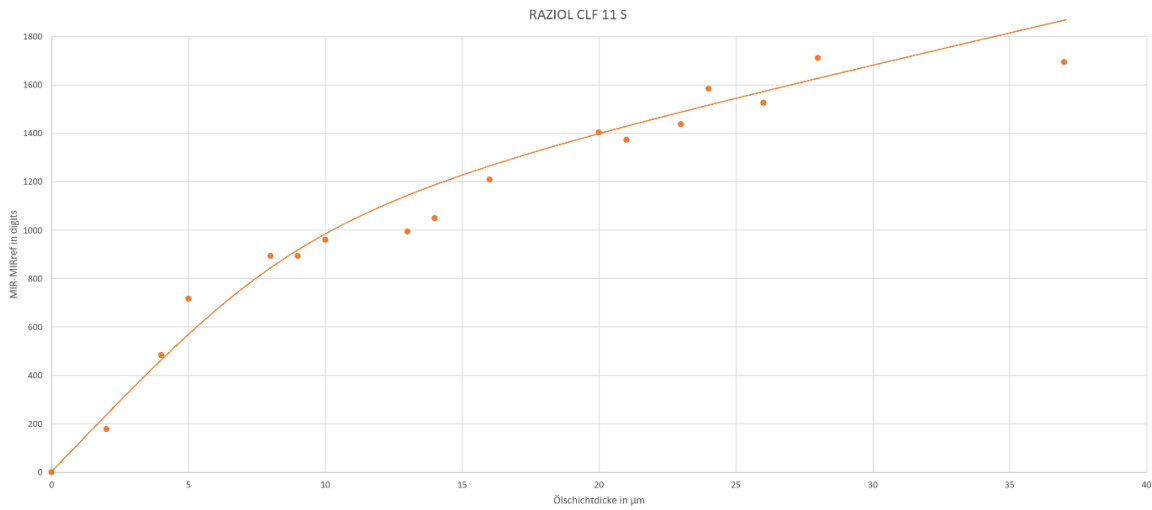
RAZIOL CLF 11 S 1st measurement zoomed



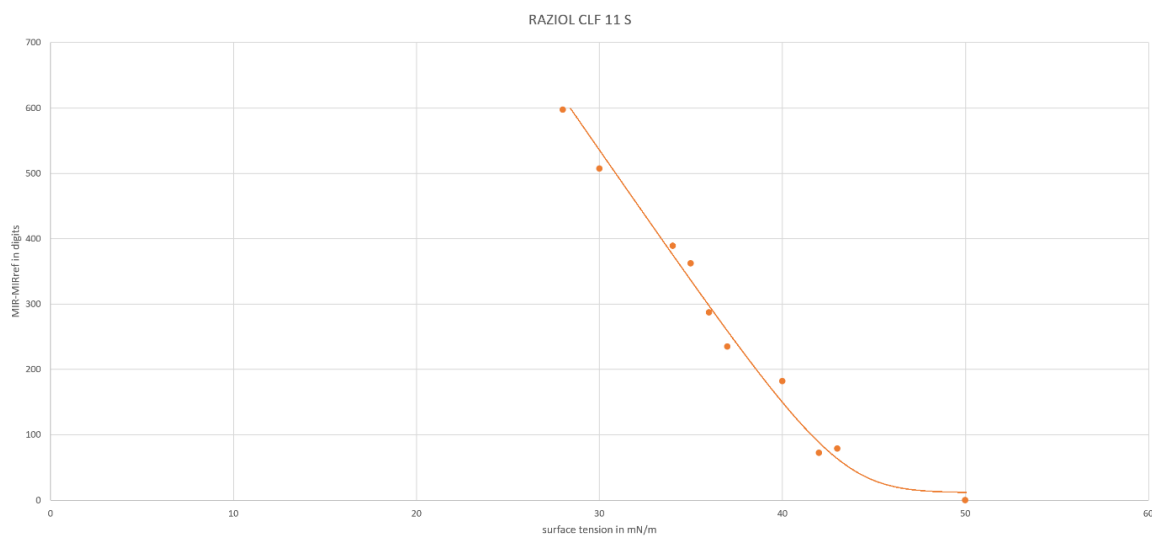
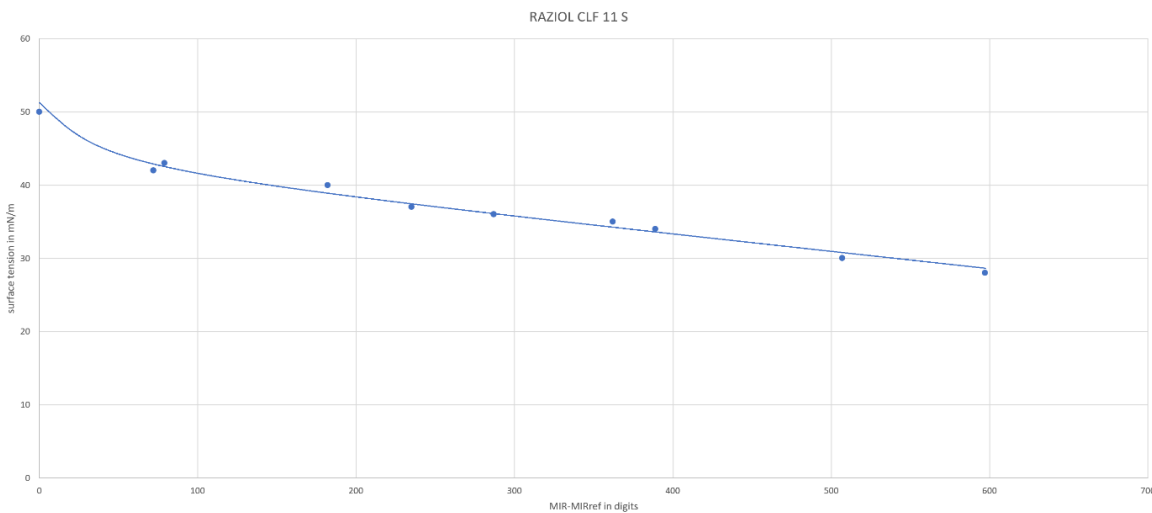
RAZIOL CLF 11 S 1st measurement



### 6.8.2 Correlação entre a espessura da camada de óleo e o sinal normalizado medido



### 6.8.3 Sinal normalizado do sensor em função da tensão superficial



## 6.9 Raziol CLF 11 SB

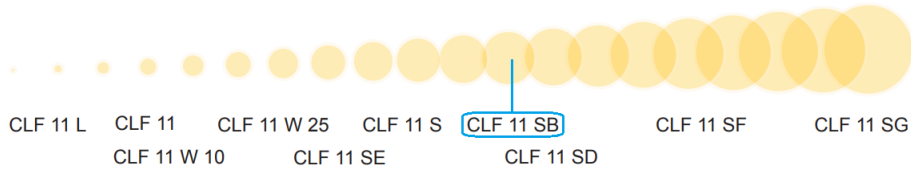
### 6.9.1 Tempo de evaporação dos componentes voláteis contidos no óleo

## CLF 11 SB

### Rückstandsverhalten

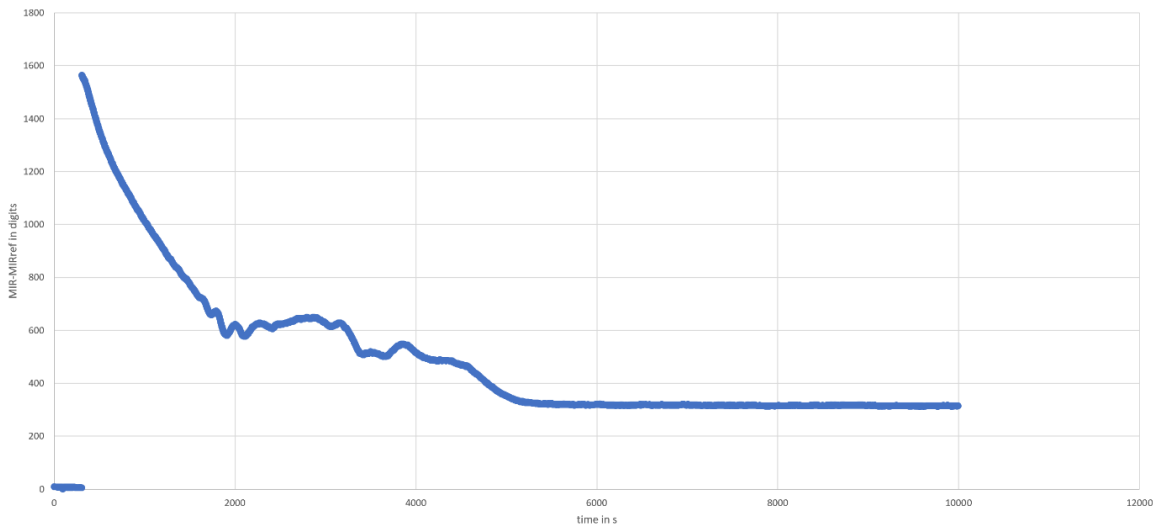
gering < <

> > hoch

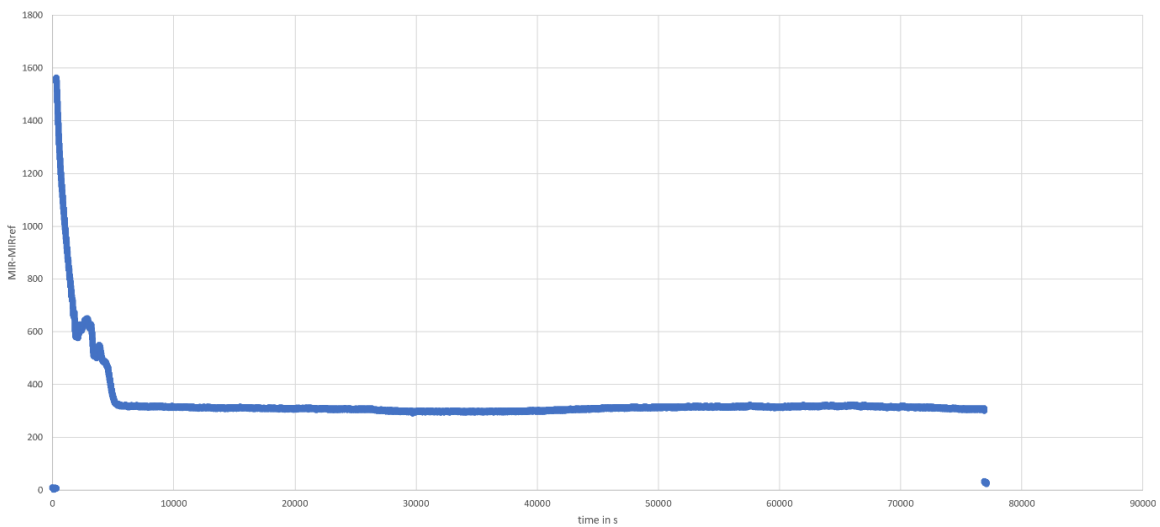


- Tempo de evaporação: aprox. 72 min.
- Quantidade de resíduos de óleo: aprox. 21 %

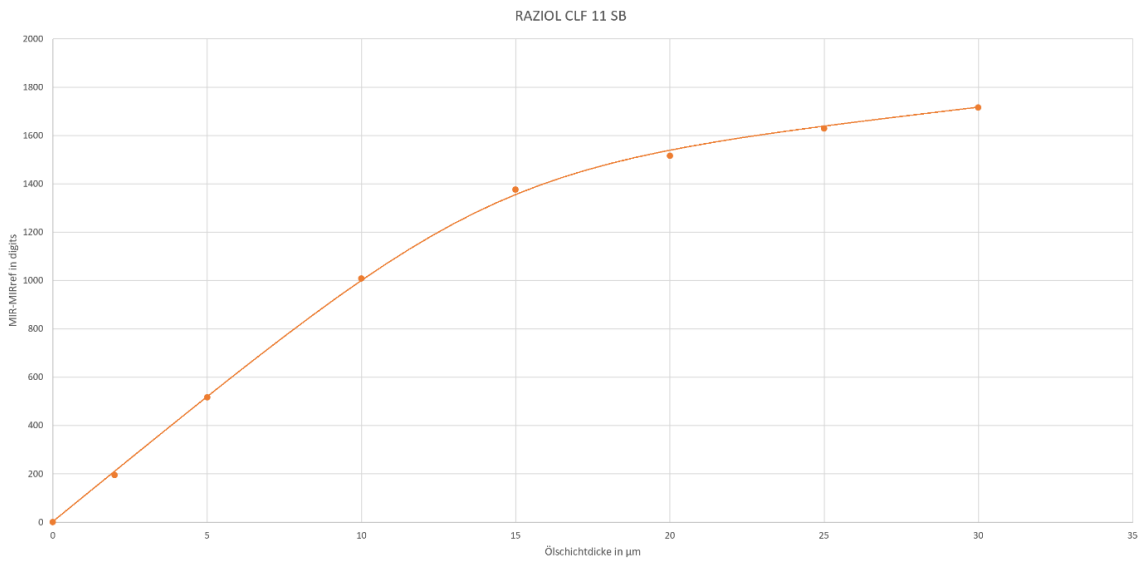
RAZIOL CLF 11 SB 1st measurement zoomed



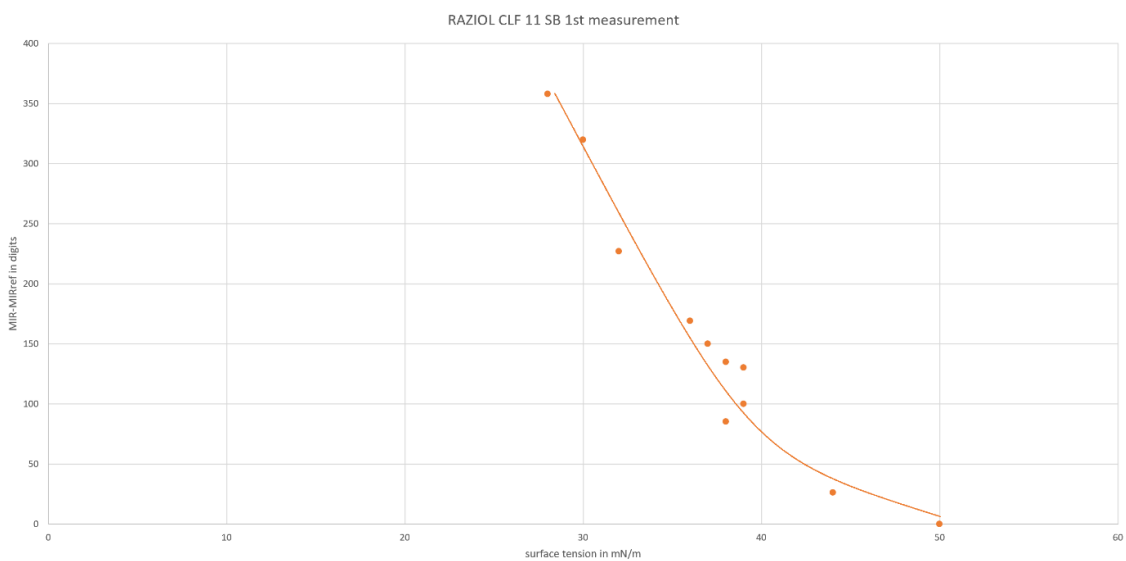
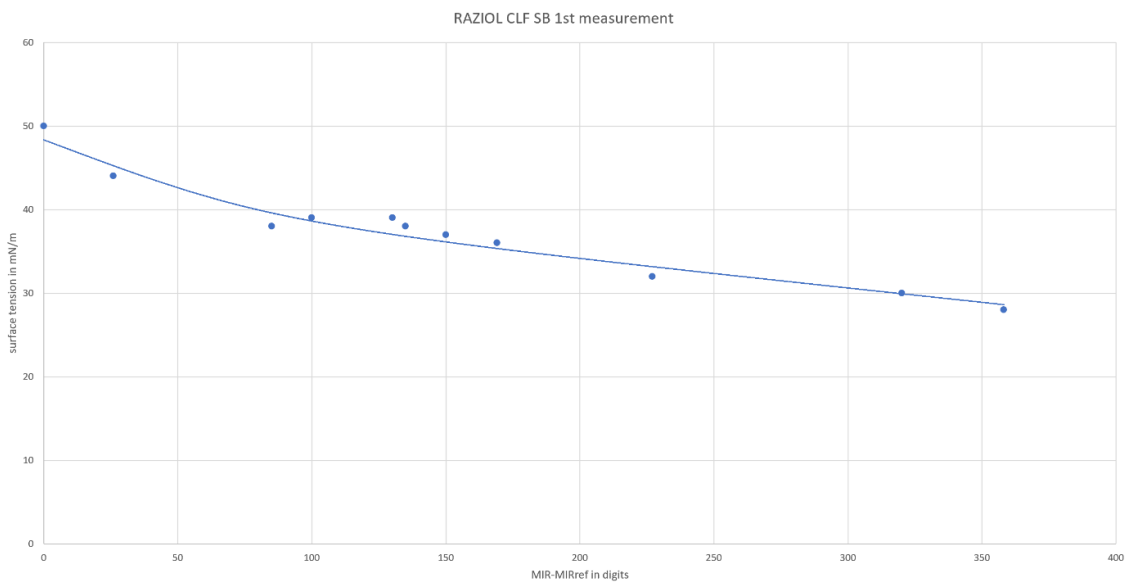
RAZIOL CLF 11 SB 1st measurement



### 6.9.2 Correlação entre a espessura da camada de óleo e o sinal normalizado medido



### 6.9.3 Sinal normalizado do sensor em função da tensão superficial





## 6.10 Raziol CLF 11 SD

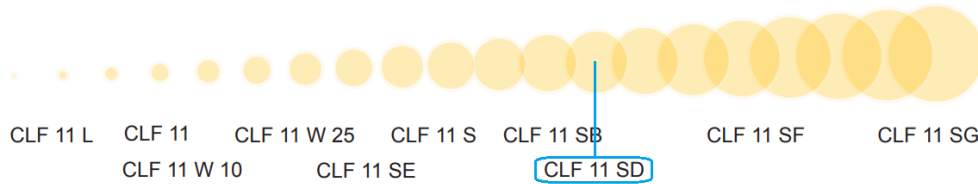
### 6.10.1 Tempo de evaporação dos componentes voláteis contidos no óleo

# CLF 11 SD

## Rückstandsverhalten

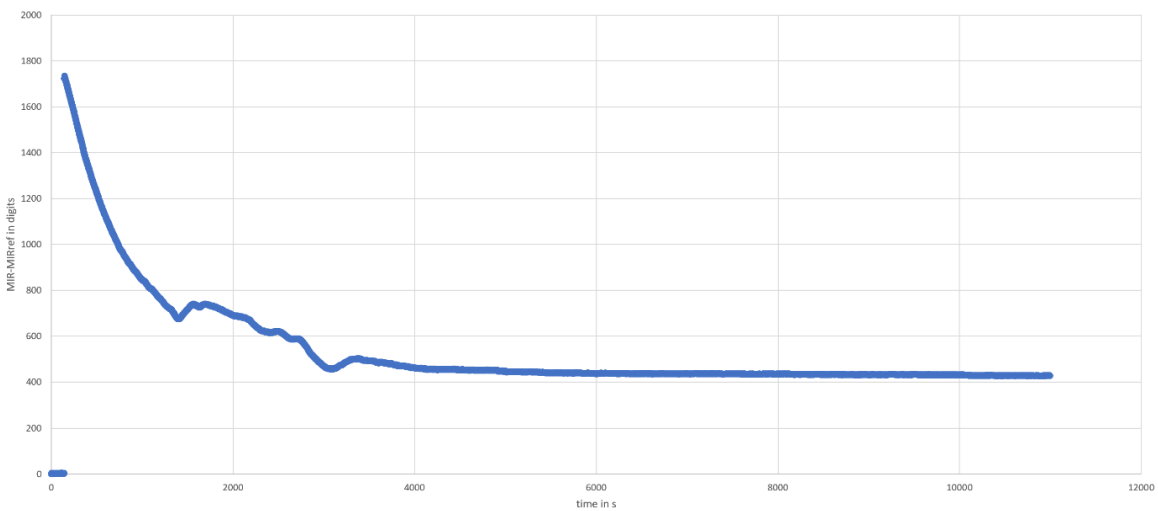
gering < <

> > hoch

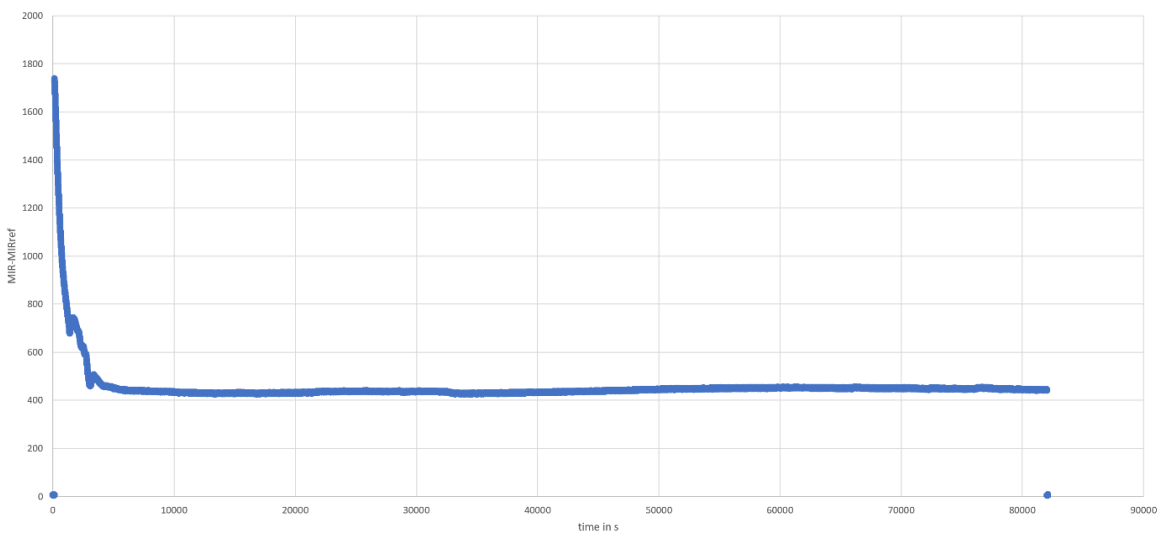


- Tempo de evaporação: aprox. 76 min.
- Quantidade de resíduos de óleo: aprox. 24 %

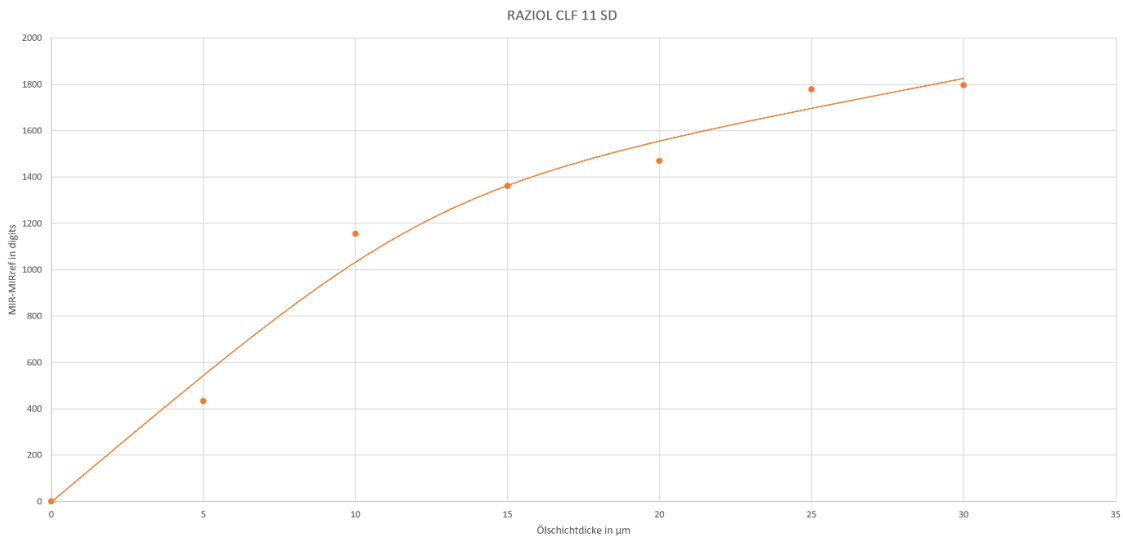
RAZIOL CLF 11 SD 1st measurement zoomed



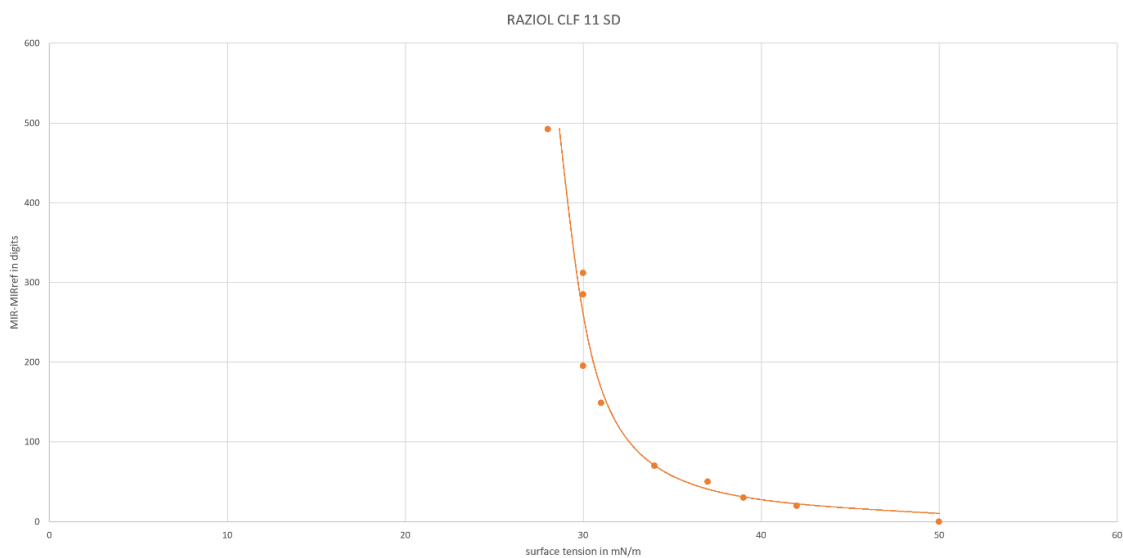
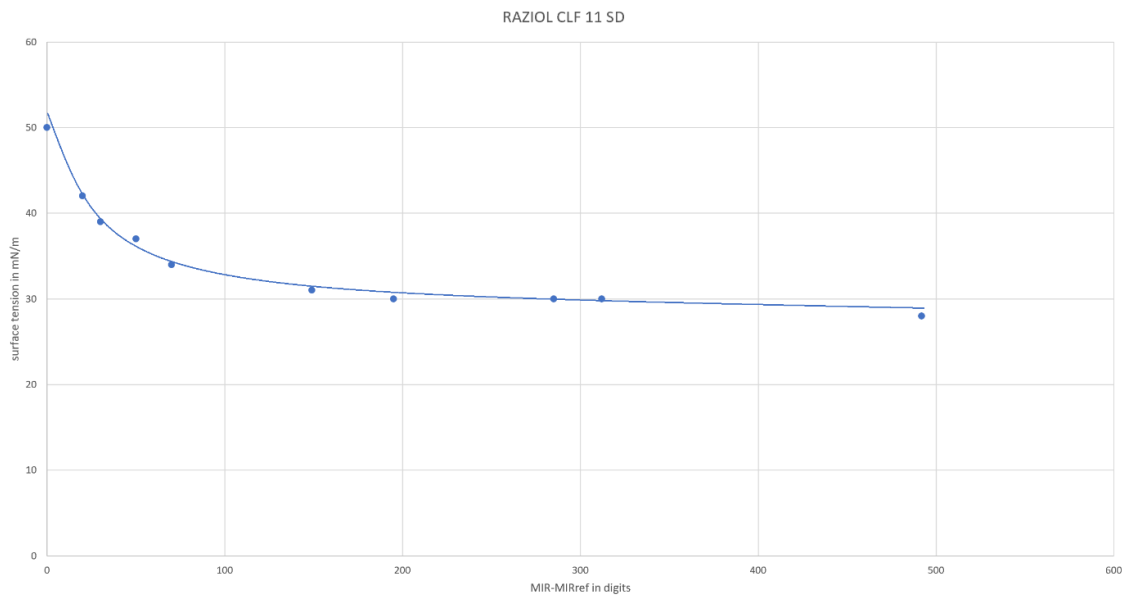
RAZIOL CLF 11 SD 1st measurement



### 6.10.2 Correlação entre a espessura da camada de óleo e o sinal normalizado medido



### 6.10.3 Sinal normalizado do sensor em função da tensão superficial



## 6.11 Raziol CLF 11 SF

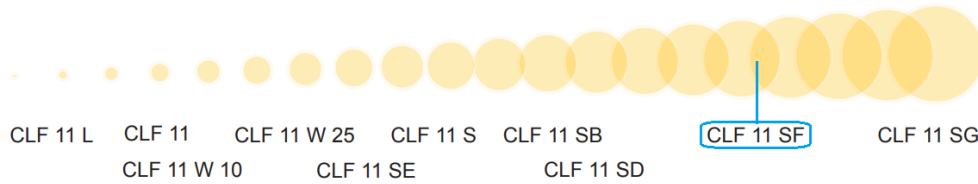
### 6.11.1 Tempo de evaporação dos componentes voláteis contidos no óleo

# CLF 11 SF

## Rückstandsverhalten

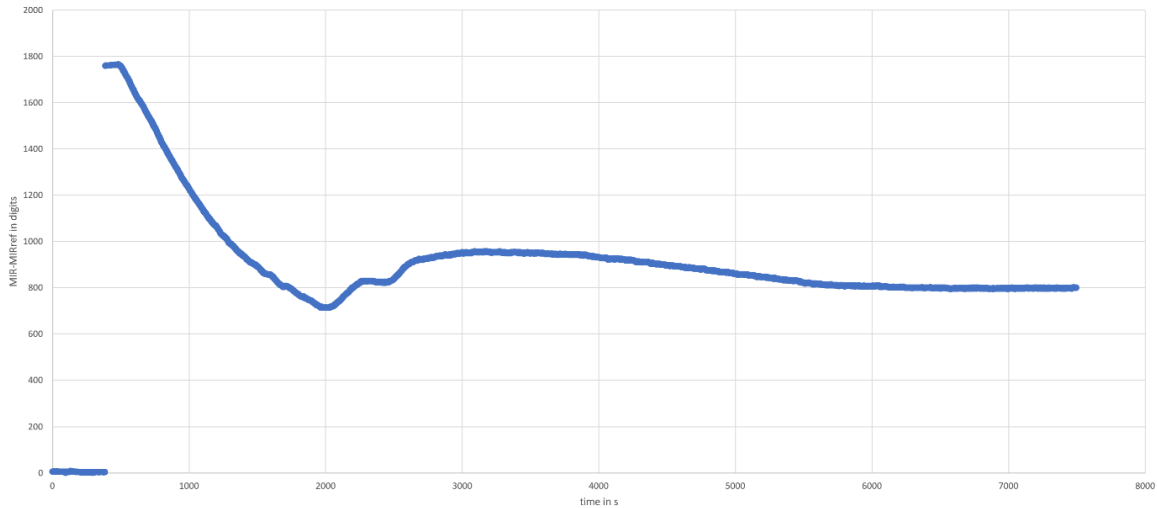
gering < <

> > hoch

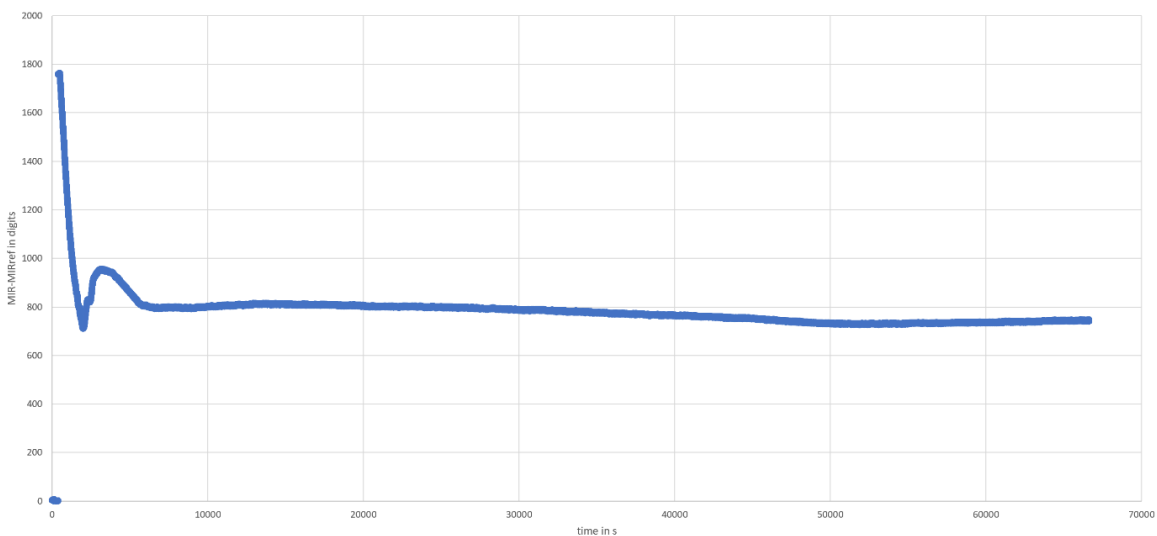


- Tempo de evaporação: aprox. 83 min.
- Quantidade de resíduos de óleo: aprox. 45 %

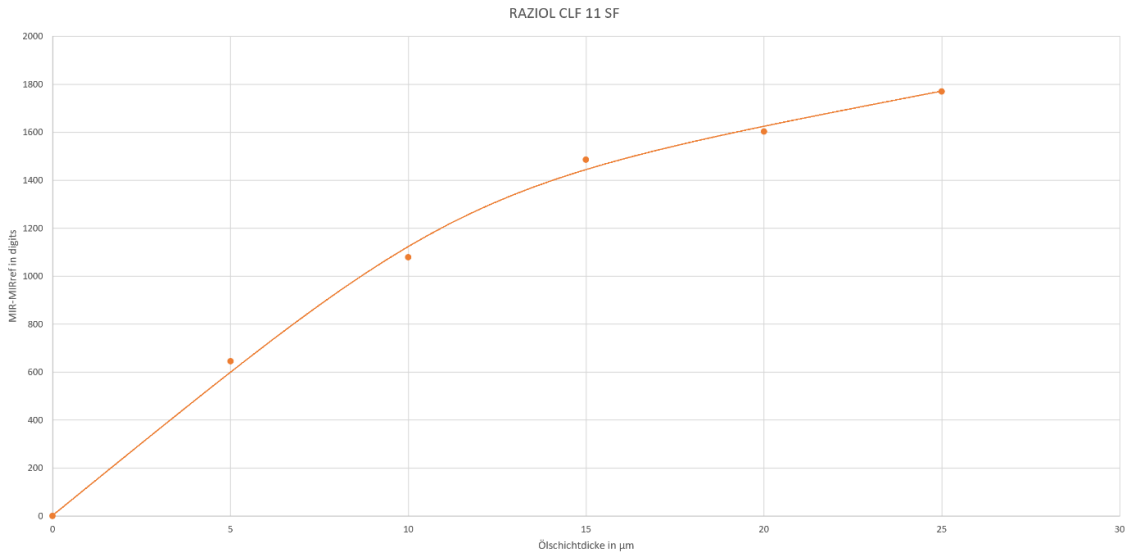
RAZIOL CLF 11 SF 1st measurement zoomed



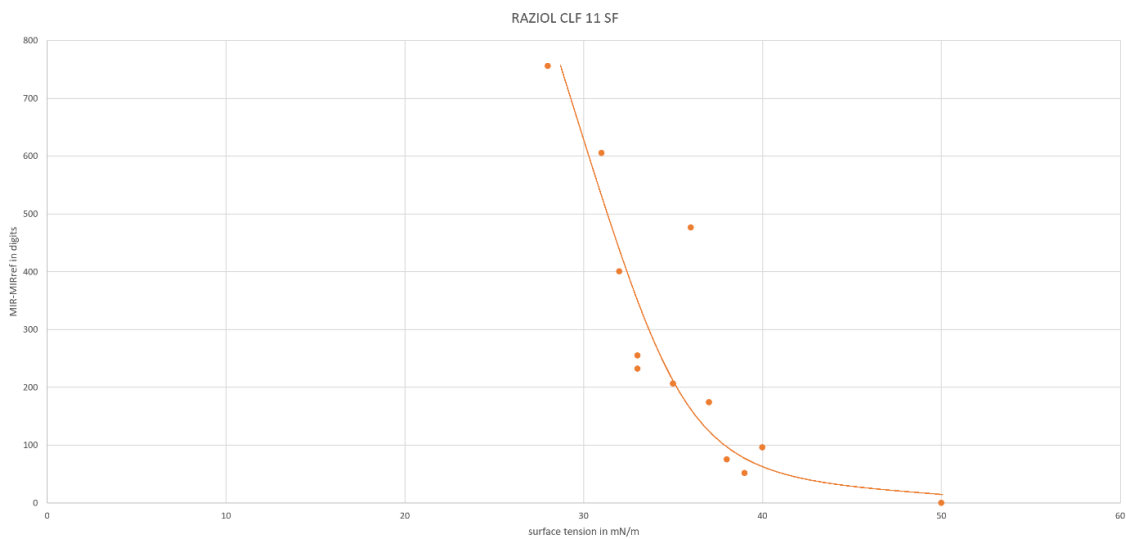
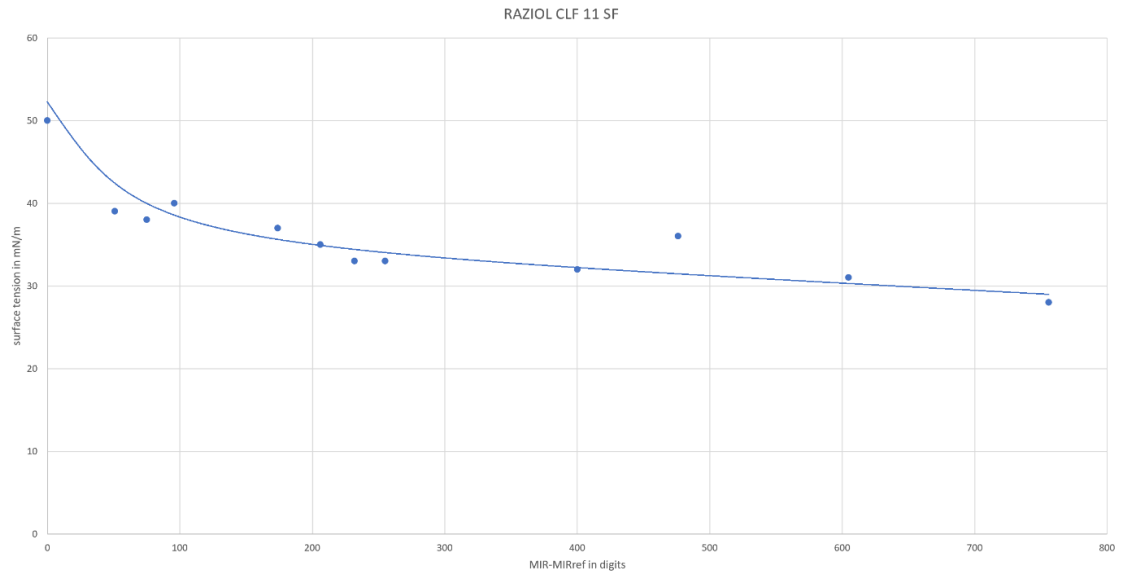
RAZIOL CLF 11 SF 1st measurement



### 6.11.2 Correlação entre a espessura da camada de óleo e o sinal normalizado medido



### 6.11.3 Sinal normalizado do sensor em função da tensão superficial



## 6.12 Raziol CLF 11 SG

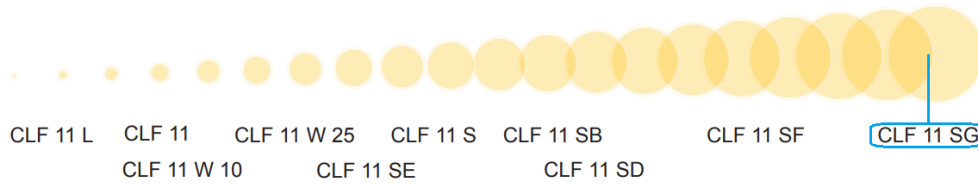
### 6.12.1 Tempo de evaporação dos componentes voláteis contidos no óleo

# CLF 11 SG

## Rückstandsverhalten

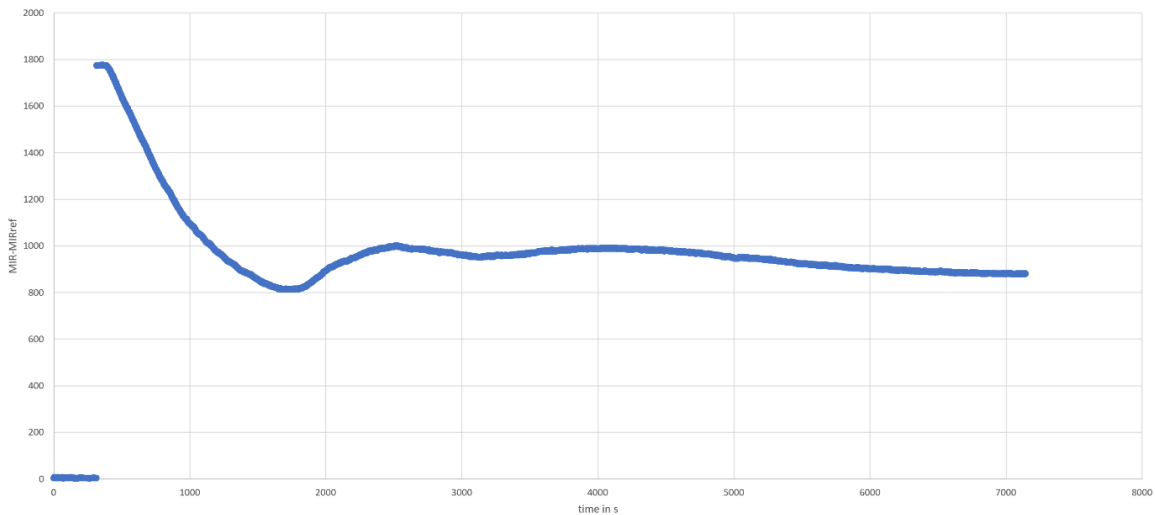
gering < <

> > hoch

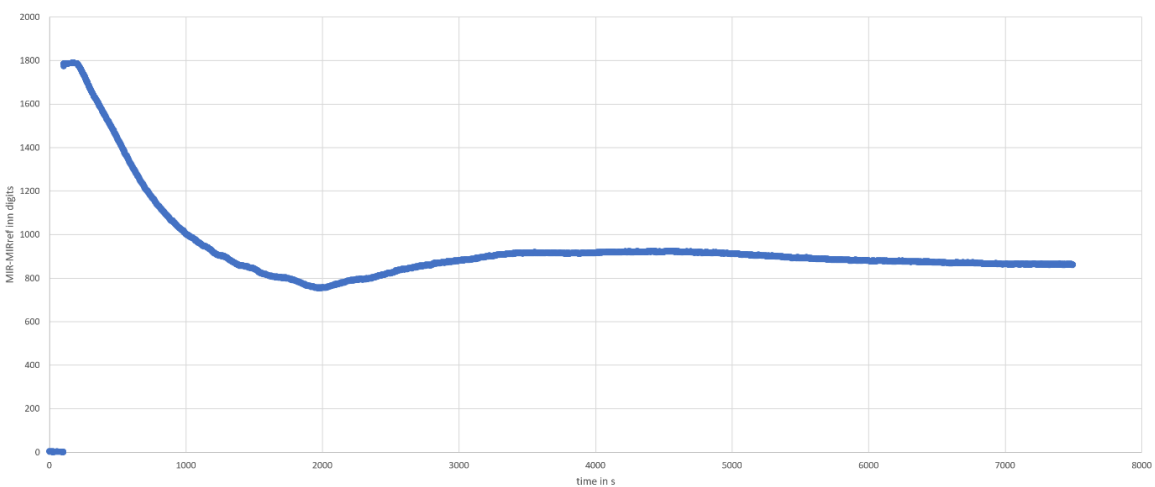


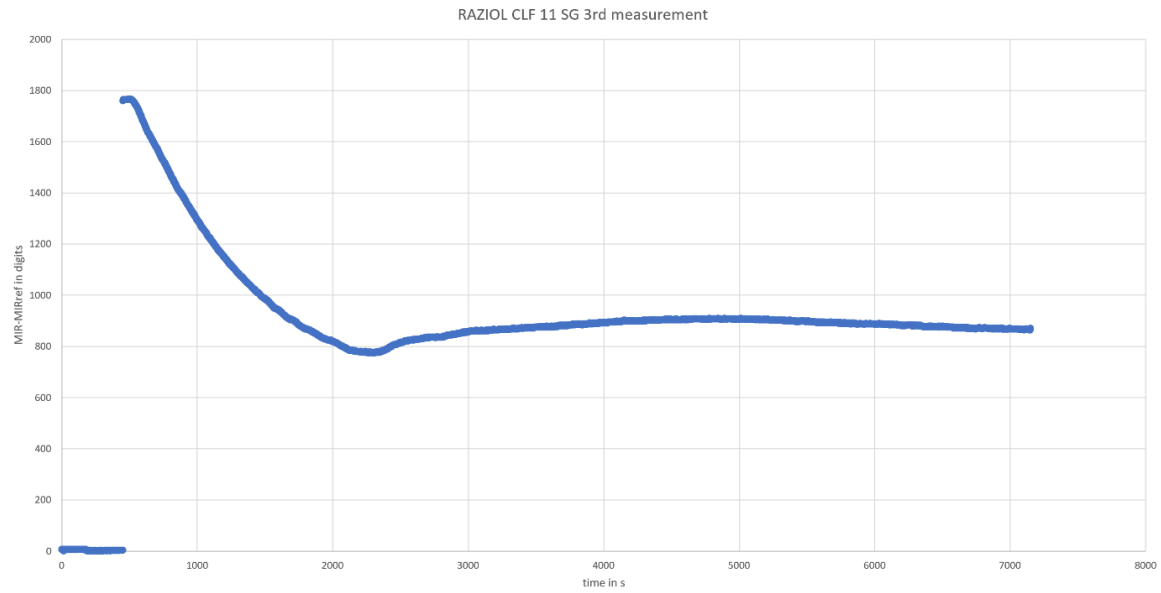
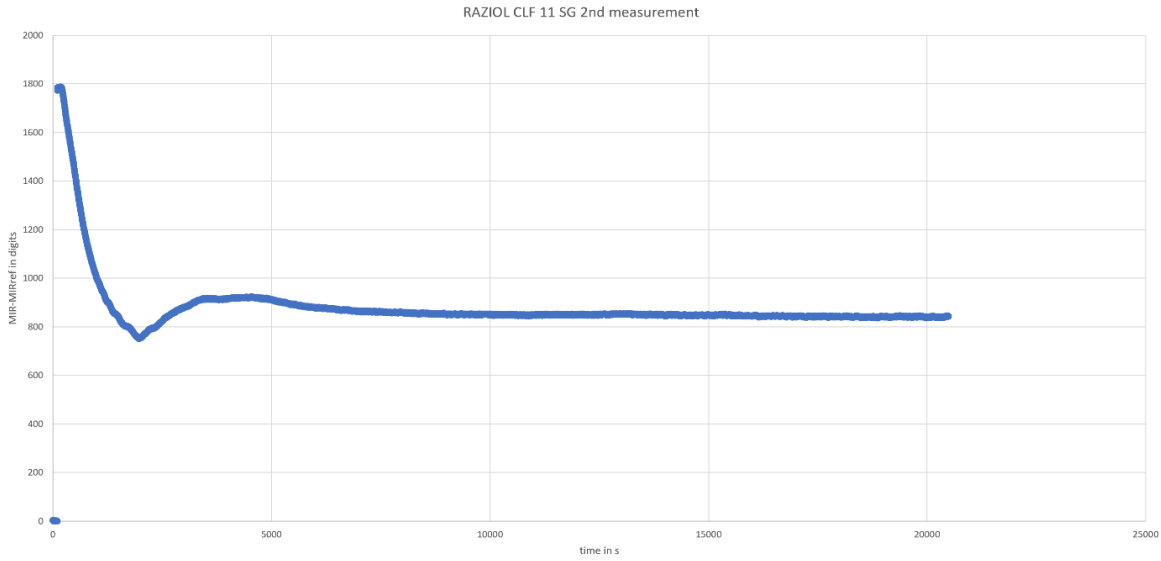
- Tempo de evaporação: aprox. 100 min.
- Quantidade de resíduos de óleo: aprox. 48 %

RAZIOL CLF 11 SG 1st measurement



RAZIOL CLF 11 SG 2nd measurement zoomed





### 6.12.2 Sinal normalizado do sensor em função da tensão superficial

