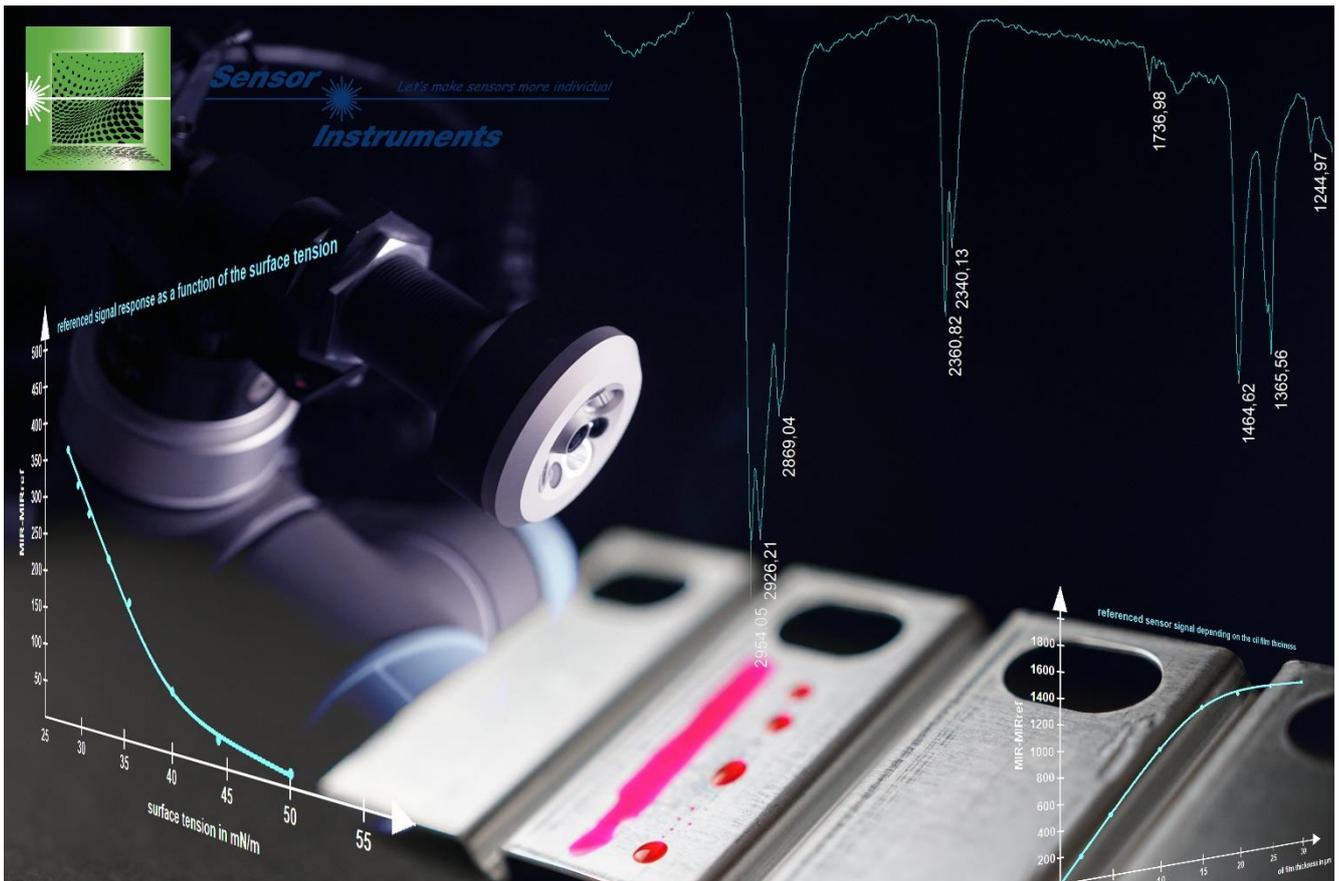


SPECTRO-M-10-MIR

Встроенный контроль тонких пленок масла на металле



Метод измерения MIR, используемый в датчиках серии SPECTRO-M, был разработан фирмой Sensor Instruments для обнаружения очень тонких органических пленок на металлических поверхностях. Поэтому датчики SPECTRO-M напрямую предназначены для обнаружения и встроенного контроля тонких масляных пленок на поверхности металла.

Поставленной целью на практике является контроль за процессом удаления масла с деталей, а также проверка однородности масляного покрытия. Во время сопровождавших разработку тестов мы установили, что с помощью этой системы при реалистичных условиях применения (тонких пленках) прекрасно регистрируются свойства испарения масел и остатки масел для смазки и охлаждения на металлических поверхностях.

Для этого мы провели испытания на специальных штамповочных маслах серии CLF фирмы Raziol, результаты которых приводятся в Разделе 6 данного документа.

Настоящий документ описывает принцип работы встроенных датчиков SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) фирмы Sensor Instruments. Разрабатываются и другие датчики SPECTRO-M с иными геометриями измерения. Кроме того, являясь разработчиками специальных датчиков, мы можем настроить технологию на специальные применения и требования клиентов.

Содержание:

1	Предисловие	4
2	Принцип действия SPECTRO-M-10-MIR.....	4
3	Референтные методы для определения поверхностного натяжения	10
3.1	Поверхностное и межфазное натяжения.....	10
3.2	Определение поверхностного натяжения путем измерения краевого угла	13
3.3	Определение поверхностного натяжения с использованием тестовых чернил	15
3.4	Референтный метод и встроенное измерение.....	17
4	Области применения для датчиков SPECTRO-M	17
5	Тестовые измерения на различных маслах.....	18
5.1	Мотивация для проведения измерений пленок масла на металлических поверхностях	18
5.2	Метод тестовых чернил – широко распространенный референтный метод измерения для контроля остатков масла.....	19
5.3	Система и методика измерения.....	20
5.4	Перечень проверенных сортов масел.....	22
5.5	Контроль остатков масла с помощью SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2).....	24
5.5.1	<i>Датчик MIR и применение</i>	<i>24</i>
5.5.2	<i>Сравнение чувствительности различных масел при одинаковой толщине масляной пленки</i>	<i>25</i>
5.5.3	<i>Зависимость сигнала измерения MIR от времени</i>	<i>26</i>
5.5.4	<i>Соотношение между MIR-сигналом и измеренным поверхностным натяжением для каждого сорта масла</i>	<i>26</i>
5.5.5	<i>Сравнение замеренных значений MIR в зависимости от поверхностного натяжения</i>	<i>31</i>
5.5.6	<i>Сравнение MIR-метода с UVA- и UVC-датчиками</i>	<i>32</i>
5.5.7	<i>Заключение Контроль остатков масла.....</i>	<i>33</i>
5.6	Встроенный контроль толщины масляной пленки	34
5.7	Измерение испарения нанесенного масла	37
6	Тестовые измерения на серии CLF 11	39
6.1	Методика испытаний и референтный метод	39
6.2	Данные производителя для серии CLF 11	40
6.3	Raziol CLF 11 L	43
6.3.1	<i>Время испарения содержащихся в масле летучих компонентов</i>	<i>43</i>
6.3.2	<i>Соотношение между толщиной пленки масла и замеренным нормированным сигналом</i>	<i>44</i>
6.3.3	<i>Нормированный сигнал датчика в зависимости от поверхностного натяжения.....</i>	<i>45</i>
6.4	Raziol CLF 11.....	46
6.4.1	<i>Время испарения содержащихся в масле летучих компонентов</i>	<i>46</i>
6.4.2	<i>Соотношение между толщиной пленки масла и замеренным нормированным сигналом</i>	<i>46</i>
6.4.3	<i>Нормированный сигнал датчика в зависимости от поверхностного натяжения.....</i>	<i>47</i>
6.5	Raziol CLF 11 W 10	48
6.5.1	<i>Время испарения содержащихся в масле летучих компонентов</i>	<i>48</i>
6.5.2	<i>Соотношение между толщиной пленки масла и замеренным нормированным сигналом</i>	<i>49</i>
6.5.3	<i>Нормированный сигнал датчика в зависимости от поверхностного натяжения.....</i>	<i>49</i>
6.6	Raziol CLF 11 W 25	50
6.6.1	<i>Время испарения содержащихся в масле летучих компонентов</i>	<i>50</i>
6.6.2	<i>Соотношение между толщиной пленки масла и замеренным нормированным сигналом</i>	<i>51</i>

6.6.3	Нормированный сигнал датчика в зависимости от поверхностного натяжения.....	51
6.7	Raziol CLF 11 SE.....	52
6.7.1	Время испарения содержащихся в масле летучих компонентов	52
6.7.2	Соотношение между толщиной пленки масла и замеренным нормированным сигналом	53
6.7.3	Нормированный сигнал датчика в зависимости от поверхностного натяжения.....	53
6.8	Raziol CLF 11 S	54
6.8.1	Время испарения содержащихся в масле летучих компонентов	54
6.8.2	Соотношение между толщиной пленки масла и замеренным нормированным сигналом	55
6.8.3	Нормированный сигнал датчика в зависимости от поверхностного натяжения.....	55
6.9	Raziol CLF 11 SB.....	56
6.9.1	Время испарения содержащихся в масле летучих компонентов	56
6.9.2	Соотношение между толщиной пленки масла и замеренным нормированным сигналом	57
6.9.3	Нормированный сигнал датчика в зависимости от поверхностного натяжения.....	57
6.10	Raziol CLF 11 SD.....	58
6.10.1	Время испарения содержащихся в масле летучих компонентов	58
6.10.2	Соотношение между толщиной пленки масла и замеренным нормированным сигналом	59
6.10.3	Нормированный сигнал датчика в зависимости от поверхностного натяжения.....	59
6.11	Raziol CLF 11 SF	60
6.11.1	Время испарения содержащихся в масле летучих компонентов	60
6.11.2	Соотношение между толщиной пленки масла и замеренным нормированным сигналом	61
6.11.3	Нормированный сигнал датчика в зависимости от поверхностного натяжения.....	61
6.12	Raziol CLF 11 SG.....	62
6.12.1	Время испарения содержащихся в масле летучих компонентов	62
6.12.2	Нормированный сигнал датчика в зависимости от поверхностного натяжения.....	63

1 Предисловие

Серия SPECTRO-M опирается на принцип измерения, который известен из колебательной спектроскопии или спектроскопии поглощения.

Под колебательной спектроскопией в широком смысле понимается анализ материалов путем облучения их светом с различной длиной волны (энергия). Излучение частично преобразуется в материале в колебательные движения молекул (поглощается), которые в выходящем излучении регистрируются в виде спектра. Из колебательных спектров можно получить информацию о молекулярной структуре органических веществ. Поэтому они могут использоваться для определения и контроля химических и физических свойств.

При ИК-спектроскопии с помощью инфракрасного излучения возбуждаются известные из квантовой механики колебательные степени свободы молекул. При этом наблюдаются полосы поглощения в ИК-спектре. Полосы колебаний основного типа находятся в среднем инфракрасном диапазоне (MIR, ~ 2500нм – 16000нм), полосы комбинированных или гармонических колебаний находятся в ближнем ИК-диапазоне (NIR, ~ 800нм – 2500нм). Полосы поглощения в NIR являются в основном широкими, перекрывающимися структурами, в то время как MIR-поглощение отображается узкими полосами.

Поглощение NIR-полос хотя значительно меньше, чем у колебаний основного типа, предлагает тем не менее достаточную информацию для классификации полимеров. Способ измерения посредством поглощения в ближней инфракрасной области используется сегодня при рециклинге полимеров. MIR-абсорбция хорошо подходит для характеристики тонких органических пленок на металле.

Серия приборов SPECTRO-M фирмы Sensor Instruments представляет собой встроенные датчики, анализирующие во время процесса производства различное поглощение органических материалов в MIR для получения данных о качестве и толщине органических пленок на поверхности металла.

Интересной областью для контроля органических пленок на поверхности металла является контроль или измерение слоя масла. При обработке металлов используются специальные масла, оптимизирующие процесс штамповки или вытяжки, которые после процесса обработки снова без остатка удаляются.

Встроенный контроль покрытия металлических деталей маслом и удаления этого покрытия является сложной метрологической задачей, которая из-за все более тонких пленок и специальных рецептур и функций масла постоянно усложняется.

Оценка поверхности часто осуществляется с помощью контроля поверхностного и межфазного натяжения. Двумя самыми распространенными методами для измерения поверхностного натяжения являются метод тестовых чернил и метод измерения краевого угла, которые кратко описаны в данном документе.

Мы включили в этот документ также обзор наших испытаний штамповочных масел и масел для волочения с использованием датчика SPECTRO-M-10-MIR и сравнили полученные результаты с методом измерения с применением красных тестовых чернил. Речь при этом идет об обнаружении минимальных остатков масла или о метрологической регистрации пленок различной толщины. Кроме того, существуют масла, которые испаряются за определенный промежуток времени, однако остатки их, в большей или меньшей степени, остаются на поверхности металла. Воспроизводимое измерение такого испарения должно заинтересовать производителей подобных масел.

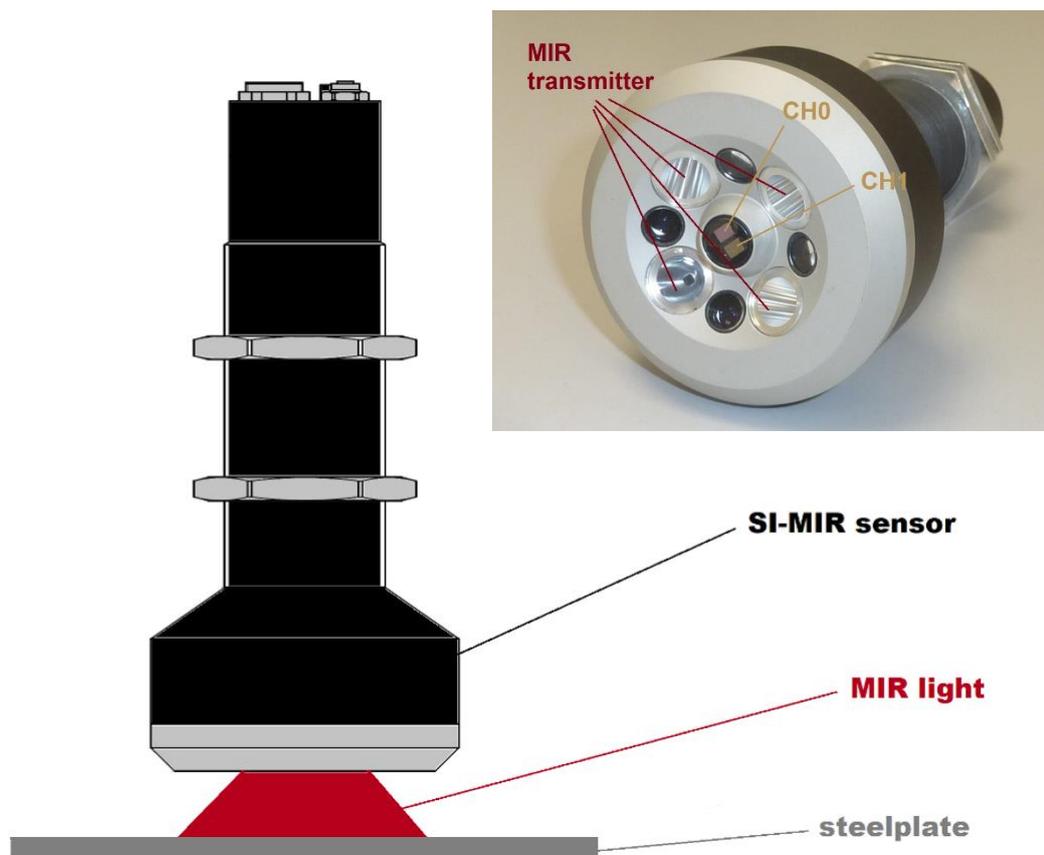
2 Принцип действия SPECTRO-M-10-MIR

Системы встроенного контроля отличает в первую очередь способность бесконтактного измерения. Естественно, необходимое для измерения время должно также соответствовать времени подачи деталей. Измерительная система должна быть прочной, компактной и снабжаться несколькими интерфейсами для передачи результатов измерения в реальном времени на верхний уровень системы контроля или ПЛК.

SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) является датчиком, оснащенным широкополосным освещением для MIR-диапазона. С приемной стороны имеются два измерительных окна (диапазоны длин волн), которые нормированно сравниваются друг с другом. Одно из них является референтным и ведет себя в отношении масел почти нейтрально, в другом же окне может быть обнаружено вызванное маслом поглощение. С помощью поставляемого вместе с датчиком Windows® ПО **SPECTRO MIR Scope V1.0** наряду с параметрированием датчика могут проводиться тестовые измерения, а также сохраняться замеренные значения. Для встроенной работы имеется ПО мониторинга, с помощью которого актуальные замеренные значения могут указываться на экране, а данные измерений могут записываться в ASCII-файлы.

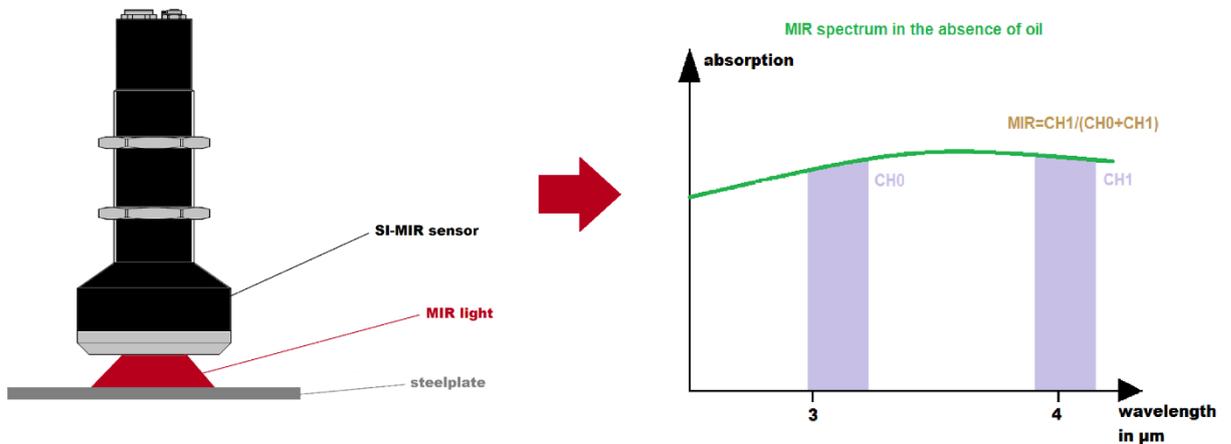
Совместно с разработкой SPECTRO-M-MIR мы протестировали целый ряд стандартных штамповочных масел и масел для волочения с помощью наших оптических датчиков. При этом мы анализировали и сравнивали эффекты измерений в UVC-диапазоне (255нм, SPECTRO-1-UVC), UVA-флуоресценцию (SPECTRO-3-UV) и поглощение в MIR - диапазоне (5мкм).

Все, протестированные до сих пор, штамповочные масла могут быть измерены с помощью MIR-метода. Для SPECTRO-M-10-MIR определилось при этом окно измерений между 3мкм и 4мкм в качестве оптимального рабочего спектрального диапазона. Метод сравнения двух спектральных диапазонов предоставляет при этом нормированные MIR-результаты измерений, отражательные свойства контактной поверхности у которых в большинстве своем уже компенсированы. Так как различные масла имеют MIR-поглощение разной силы, требуется калибровка на свободной от масла металлической поверхности (MIRреф). Если необходимо перевести замеренные значения в единицы референтной системы, например, если значения поверхностного натяжения при использовании тестовых чернил должны выдаваться в качестве измеренного значения в мН/м, следует один раз провести соответствующую референтную калибровку (ПРЕОБРАЗОВАНИЕ). На следующих изображениях представлен принцип работы сенсорики MIR:

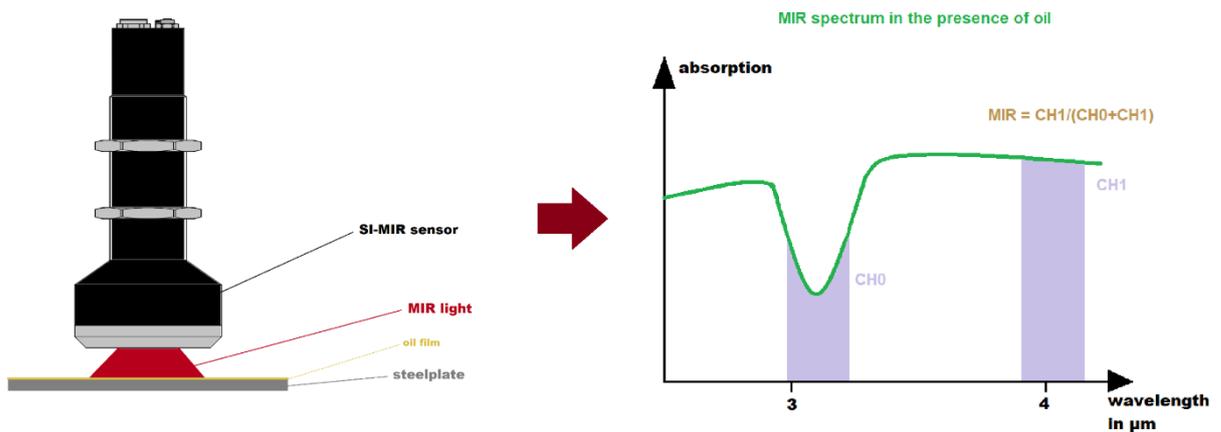


Широкополосные MIR – излучатели покрывают необходимый для обеих областей измерения CH0 и CH1 спектральный диапазон. Часть отраженного от металлической поверхности света попадает при этом в обе области измерения, область измерения (CH0) реагирует на наличие пленки масла, в то время как вторая

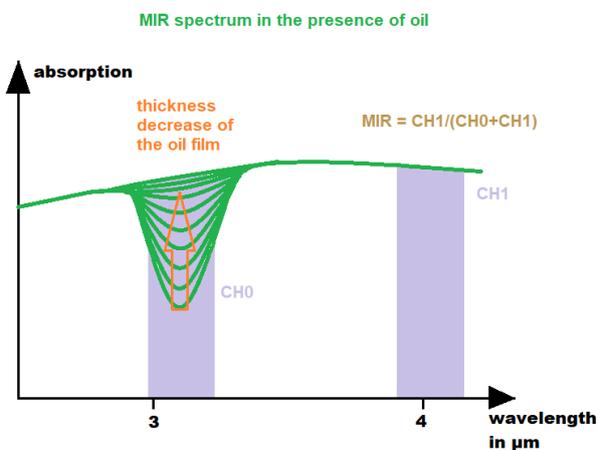
область измерения (CH1) реакции на наличие пленки масла не показывает (референтная область). Путем нормирующего анализа можно получить независимое от интенсивности замеренное значение:



Изображение выше показывает металлическую поверхность без пленки масла. Обе области измерения имеют почти одинаковый уровень сигнала (нормированное значение = MIR_{реф}). На изображении ниже уровень сигнала в области измерения CH0 резко падает, что приводит к смещению нормированного значения MIR.



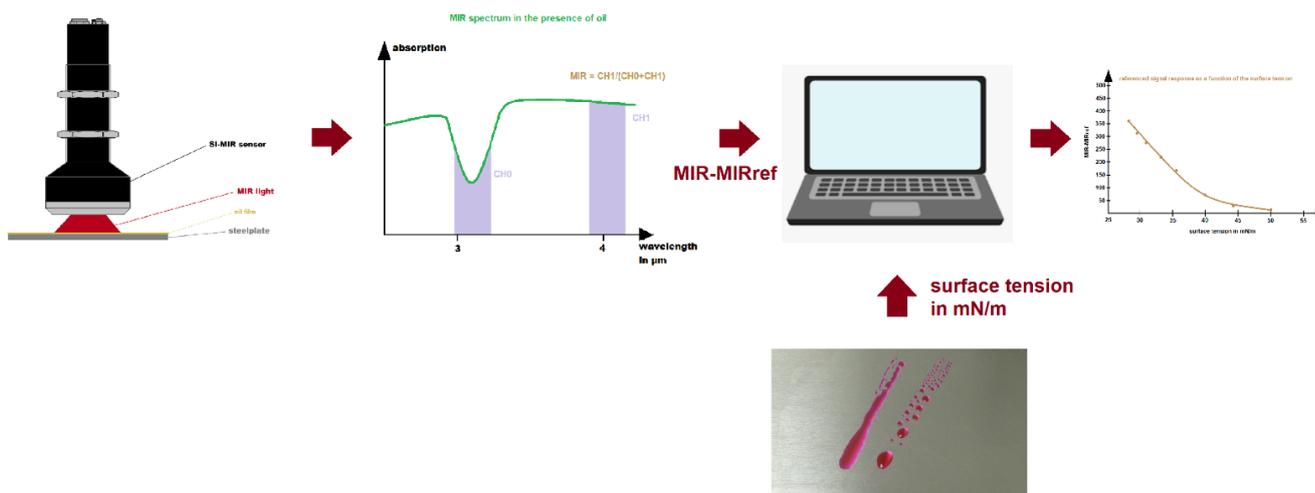
Чем толще пленка масла, тем круче падает сигнал в области измерения CH0:



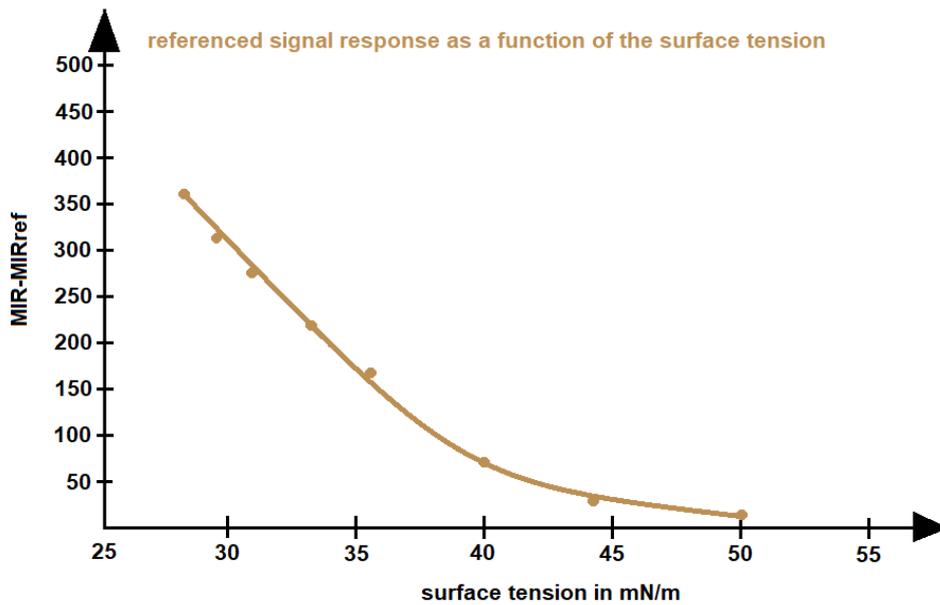
Из обоих сигналов можно рассчитать нормированное значение $MIR = CH1/(CH0+CH1)$, отображающее оба канала. Это нормированное значение является в первую очередь проприетарным значением, определяемым параметрами датчика, маслом и металлической поверхностью. С помощью ПО датчика можно соотнести нормированное значение с референтным методом измерения и выдать в референтном формате как „калиброванное измеренное значение“.

Пример: Метод красных тестовых чернил (мН/м) в качестве примера для калибровки референтной системы:

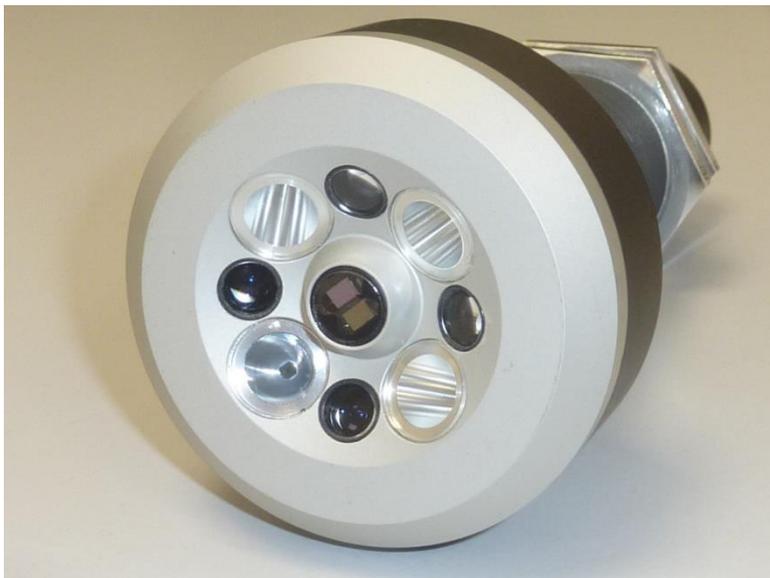
Чтобы на интерфейсе датчика можно было передать не только нормированное значение (MIR), но и величину поверхностного натяжения поверхности металл-пленка масла-поверхность, следует сначала обратиться к методу измерения с помощью тестовых чернил (калибровка):



Для этого одна из контролируемых металлических деталей сначала освобождается от масла, а затем с помощью датчика MIR определяется нормированное референтное значение (MIR_{реф}) и путем метода измерения с помощью тестовых чернил устанавливается соответствующая величина поверхностного натяжения в мН/м. Затем этой процедуре подвергается следующая обезжиренная металлическая деталь, с той разницей, что каждый последующий раз (результат измерения при наличии масла: MIR) на обезжиренную деталь равномерно наносится чуть больший слой масла (толщина пленки масла согласно опыта изменяется при этом в диапазоне между 100нм и 5мкм). В заключении замеренные значения (MIR-MIR_{реф}) собираются в таблицу, которая используется в энергонезависимой памяти датчика в качестве таблицы для пересчета. В графической форме получается следующая зависимость:



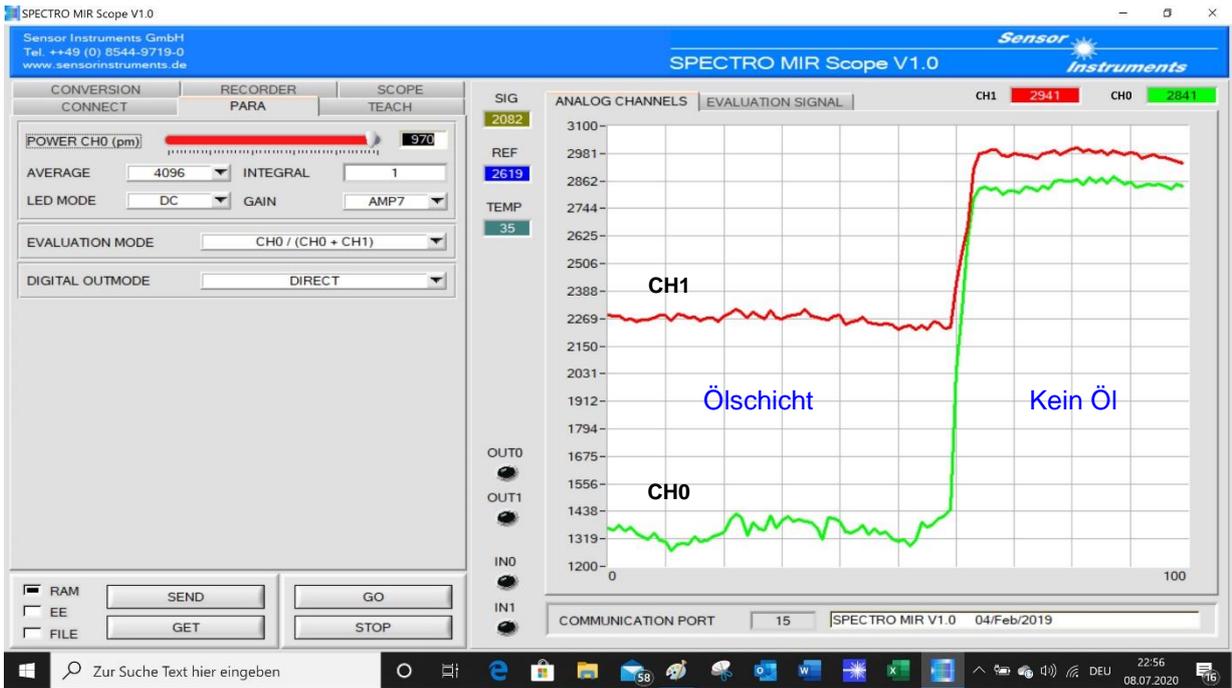
Для автономного измерения изделий или в лаборатории используется устанавливаемая проставка. Измерения проводятся при этом непрерывно. Рабочее расстояние от датчика до измеряемой поверхности составляет 10мм.



SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) – головка датчика



Автономная насадка для лабораторных измерений



SPECTRO MIR Scope - Windows®ПО для конфигурации датчиков, тестовых измерений и для калибровки датчика на референтный метод измерений.

3 Референтные методы для определения поверхностного натяжения

3.1 Поверхностное и межфазное натяжения

Почему на практике очень важно знать значение поверхностного натяжения металлических поверхностей?

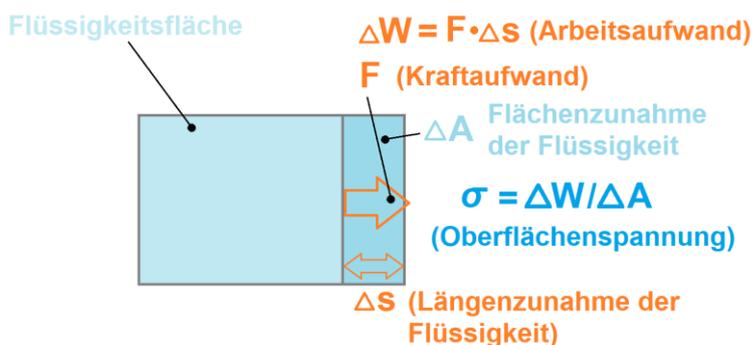
Например, перед нанесением цветных лаков на металлическую деталь следует проверить величину поверхностного натяжения металлической поверхности. Если оно ниже поверхностного натяжения краски, цветной лак стечет с металлической поверхности.

То же самое происходит и при нанесении клея или других видов покрытий. Хорошее склеивание возможно только, если поверхностное натяжение металла выше поверхностного натяжения клея или материала покрытия.

Что такое поверхностное натяжение?

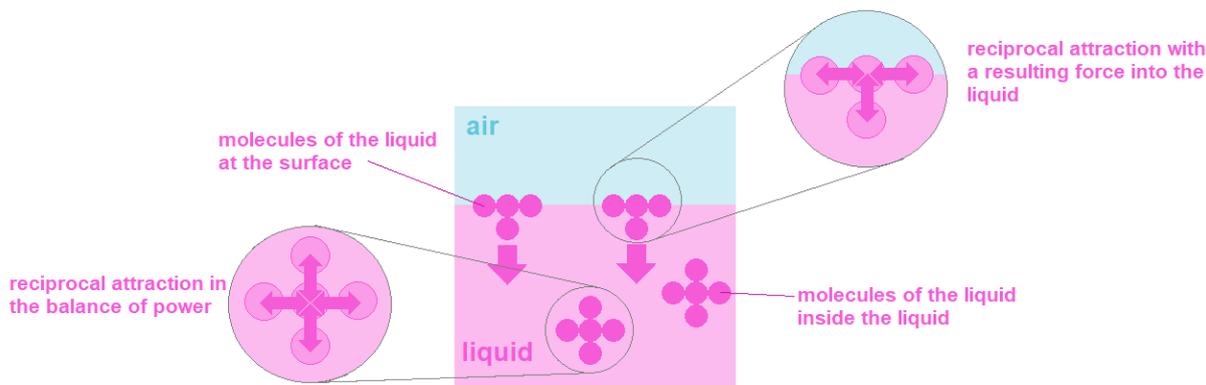
Чтобы увеличить поверхность жидкости требуется определенное приложение силы. Для необходимо совершить определенную работу. Поверхностным натяжением считается отношение совершаемой работы к увеличению площади (увеличение поверхности жидкости), полученному в результате совершенной работы:

$$\sigma = \Delta W / \Delta A \text{ (единица СИ: Н/м)}$$



Благодаря поверхностному натяжению жидкости стремятся сократить свою поверхность до минимума, что приводит к образованию поверхности сферической формы (сфера имеет наименьшую площадь поверхности среди всех тел одинакового объема).

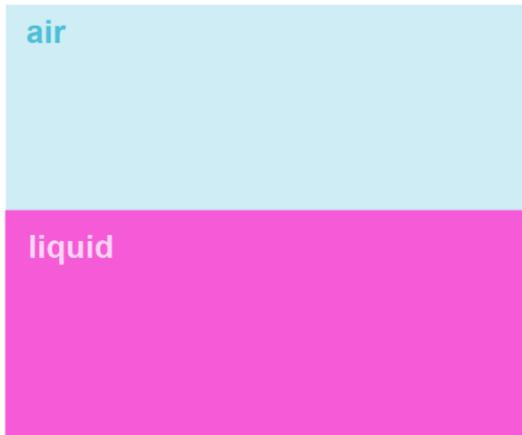
Что такое межфазное натяжение?



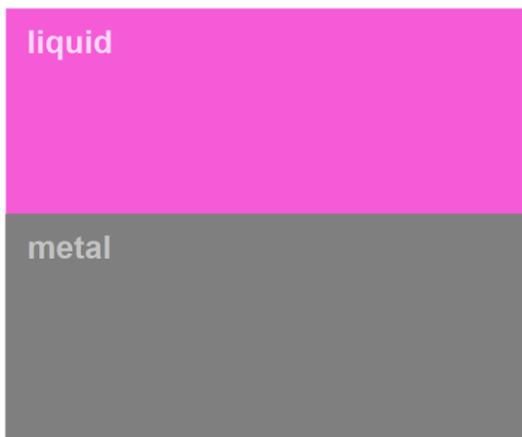
Внутри жидкости все молекулы равномерно окружены соседними молекулами, благодаря чему взаимные притяжения уравниваются. На контуре же поверхности жидкости (граница) из-за отсутствия

симметричного распределения сил взаимного притяжения возникает равнодействующая сила, направленная во внутрь жидкости.

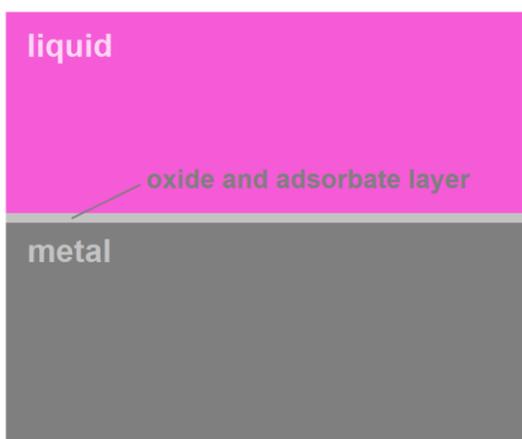
Поэтому здесь поверхностное натяжение считается поверхностным натяжением на границе раздела двух фаз. Понятие межфазное натяжение используется обычно при переходе жидкости к субстрату, например, к металлической поверхности, в то время как при переходе жидкости к воздуху говорят просто о поверхностном натяжении.



Переход воздух / жидкость: при этом используется понятие поверхностное натяжение



Переход жидкость / металл: процессы на границе обозначают поверхностным натяжением на границе раздела двух фаз



При таком переходе (жидкость / металл) следует, однако, заметить, что речь здесь собственно идет о переходе от оксидной пленки на металле или слоя адсорбированного вещества (двуокиси углерода и углеводородов на поверхности металла) к жидкости.

Что такое смачивание маталлических поверхностей?

Показателем смачивания поверхности металла нанесенной жидкостью (например, в виде капли или мазка) является краевой угол Θ . Смачивание поверхности металла возрастает при этом с уменьшением краевого угла Θ .

Процесс смачивания описывается уравнением Юнга::

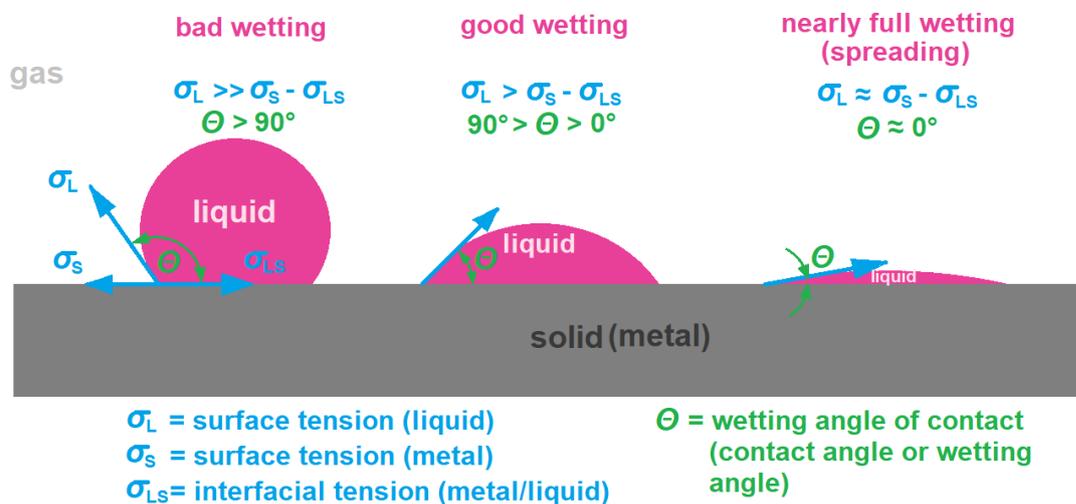
$$\cos \Theta = (\sigma_s - \sigma_{LS}) / \sigma_L$$

где

σ_L = поверхностное натяжение жидкости

σ_S = поверхностное натяжение металла

σ_{LS} = межфазное натяжение между металлом и жидкостью



Θ = краевой угол (угол контакта или смачивания) на металле

Самостоятельное распределение жидкости по поверхности металла (расплывание мазка или капли, называемое также растеканием) достигается при краевом угле $\Theta = 0^\circ$ (отвечает $\cos \Theta = 1$). Для уравнения Юнга в данном случае действительно: $\sigma_L = \sigma_s - \sigma_{LS}$.

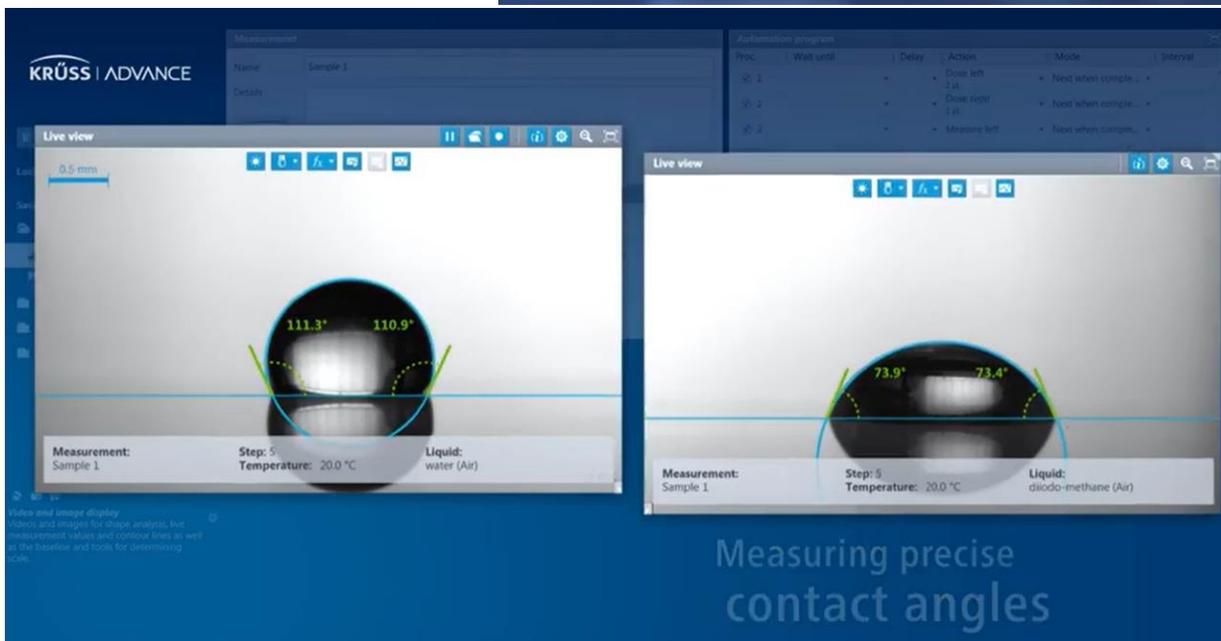
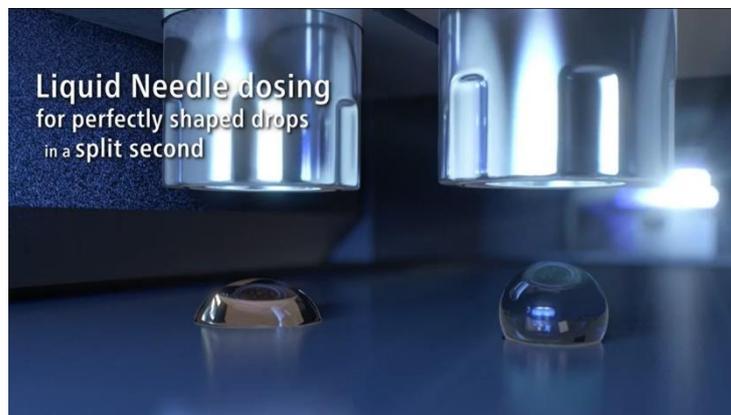
Если при этом $\sigma_{LS} \ll \sigma_s$, то для жидкости, смачивающей металлическую поверхность действительно: $\sigma_L < \sigma_s$. Таким образом следует: если поверхностное натяжение жидкости меньше, чем поверхностное натяжение металла, происходит смачивание металла жидкостью, если же поверхностное натяжение жидкости больше, чем поверхностное натяжение металла, смачивания не происходит.

3.2 Определение поверхностного натяжения путем измерения краевого угла

Приведенные в специальной литературе значения поверхностного натяжения относятся в первую очередь к металлам в жидком состоянии вблизи соответствующей точки плавления. Для определения же смачивания имеет значение только поверхностное натяжение покрытой оксидно-абсорбционным слоем металлической поверхности при температуре окружающей среды.

Одним из методов измерения для местного определения поверхностного натяжения металлов является измерение краевого угла. При этом на металлическую поверхность наносится капля жидкости с определенным поверхностным натяжением и оптически определяется краевой угол капли.

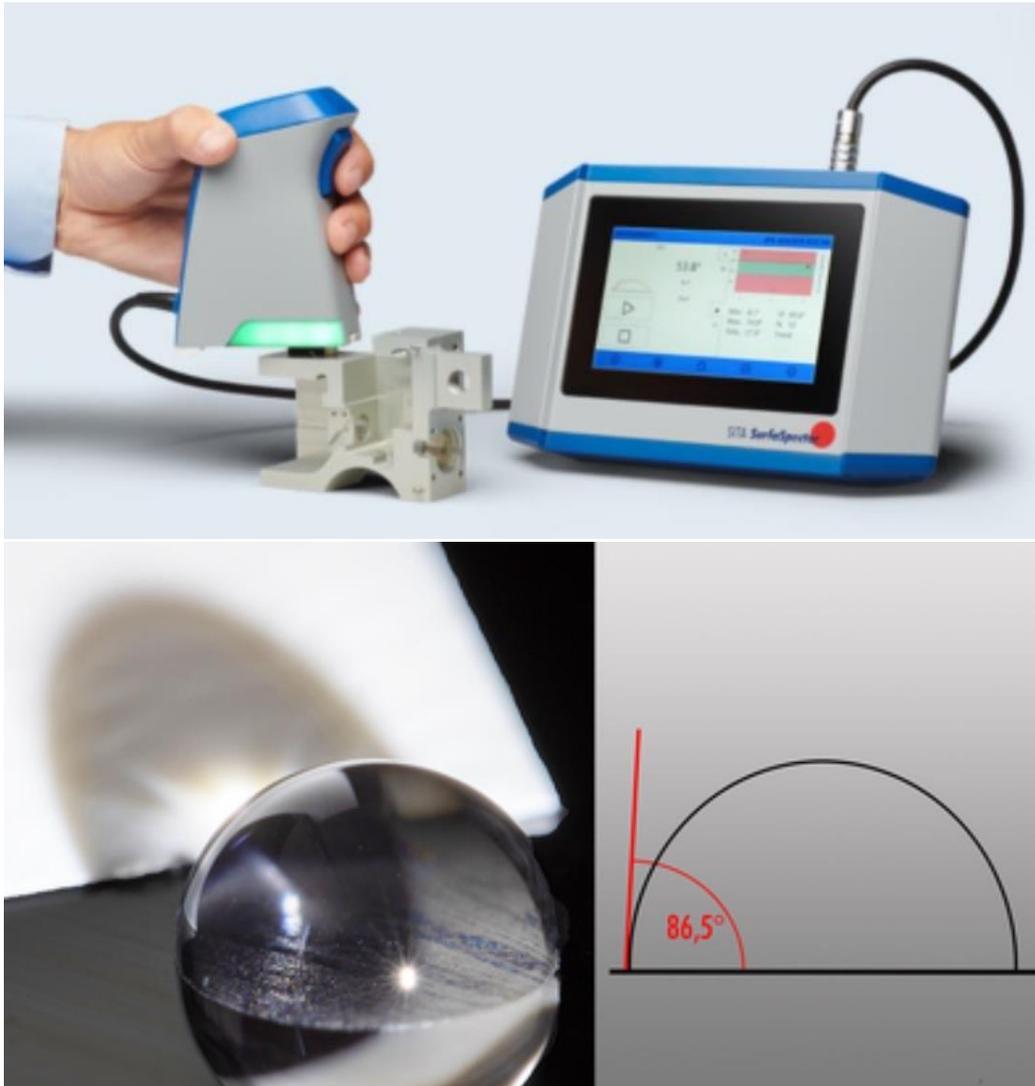
Для выполнения этой задачи существуют различные измерительные приборы. Величина поверхностного натяжения (свободная поверхностная энергия) может определяться с помощью тензиометра Mobile Surface Analyzer – MSA фирмы KRÜSS GmbH www.kruss-scientific.com, при этом путем использования двух тестовых жидкостей (с различным поверхностным натяжением) на контролируемую металлическую поверхность наносятся две капли и с помощью измерения краевого угла определяется поверхностное натяжение металла.



Авторское право: Krüss GmbH

Еще одна измерительная система предлагается фирмой SITA Messtechnik GmbH www.sita-process.com. SITA предлагает систему для „быстрого определения смачиваемости поверхности во время производственного процесса путем измерения краевого угла“. SITA SurfaSpector является ручным измерительным прибором для контроля смачиваемости, например, металлических поверхностей до и после обработки или очистки поверхности. При этом методе на измеряемую поверхность с помощью интегрированного в головку датчика дозатора наносится одна капля (1мкл) сверхчистой воды. Благодаря

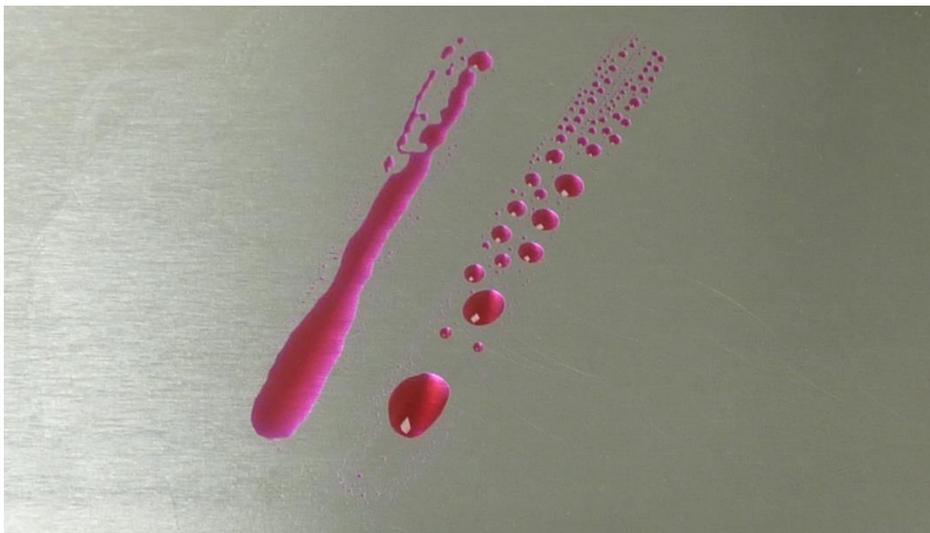
камере высокого разрешения в насадке датчика происходит фиксация контура капли, который в свою очередь позволяет определить краевой угол.



Источник: SITA Messtechnik GmbH

3.3 Определение поверхностного натяжения с использованием тестовых чернил

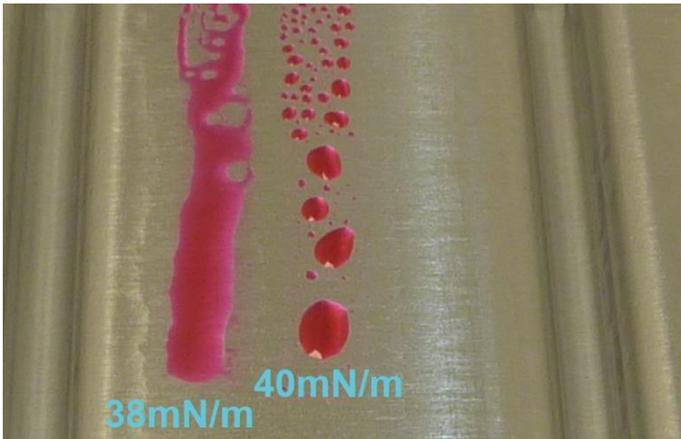
Еще одним методом определения поверхностного натяжения металлов при температуре окружающей среды является метод с использованием тестовых чернил. При этом на контролируемую металлическую поверхность с помощью, например, кисточки, наносятся тестовые чернила с известным поверхностным натяжением. Если тестовые чернила смачивают металлическую поверхность, то поверхностное натяжение (межфазное натяжение) металлической поверхности соответствует значению тестовых чернил или даже превышает это значение. Если чернила стекают с металлической поверхности, то поверхностное натяжение (межфазное натяжение) металлической поверхности меньше поверхностного натяжения тестовых чернил.



Тестовые чернила предлагаются, напр., фирмой arcotest GmbH www.arcotest.info. Тестовые чернила PINK покрывают при этом диапазон поверхностного натяжения от 22мН/м до 60мН/м с интервалами в 2мН/м.



Как указывалось выше, определенное поверхностное натяжение основания является очень важным фактором при нанесении покрытий. Что же является причиной слишком низкого значения поверхностного натяжения у металлов?



Как уже упоминалось выше, на практике поверхность металла является собственно оксидно-адсорбционным слоем. Атомы кислорода и углерода встраиваются при этом в металлическую поверхность. Измерения показали, что химически очищенная от масла металлическая поверхность (точнее оксидная пленка и адсорбционный слой на поверхности металла) имеет величину поверхностного натяжения в $> 60\text{мН/м}$. Если же рассматривать штампованные детали, которые покрываются маслом перед штамповкой и гибкой и очищаются затем в стандартной чистящей установке, то величина поверхностного натяжения

штампованных деталей будет составлять примерно 38мН/м , а в отдельных случаях и 44мН/м . - Перед очисткой величина поверхностного натяжения металлической поверхности штампованных деталей, в зависимости от использованного масла, как правило, ниже 30мН/м . –

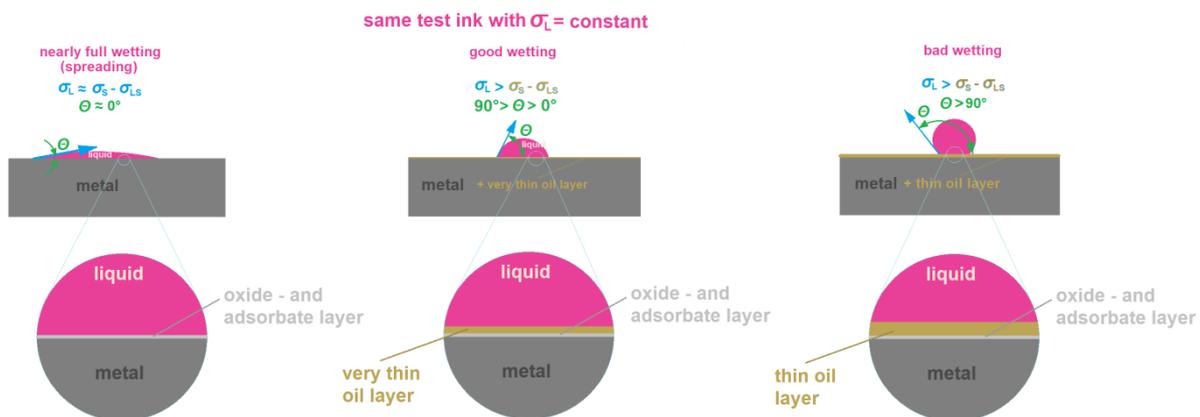
Как раз для штампованных деталей и в первую очередь для деталей разъемов важно высокое значение поверхностного натяжения ($> 38\text{мН/м}$), так как это значение указывает на долю остатков масла на металлической поверхности. Остатки масла, например, повышают контактное сопротивление, что приводит к потере мощности в месте перехода штекерного разъема.

При использовании двух тестовых чернил (38мН/м и 40мН/м) можно подтвердить, что при данной поверхности контакта величина поверхностного натяжения составляет $38\text{мН/м} - 40\text{мН/м}$.

При использовании 40мН/м тестовых чернил хорошего смачивания уже нет (краевой угол смачивания Θ сильно отличается от 0°), хотя при 38мН/м достигается почти полное растекание.

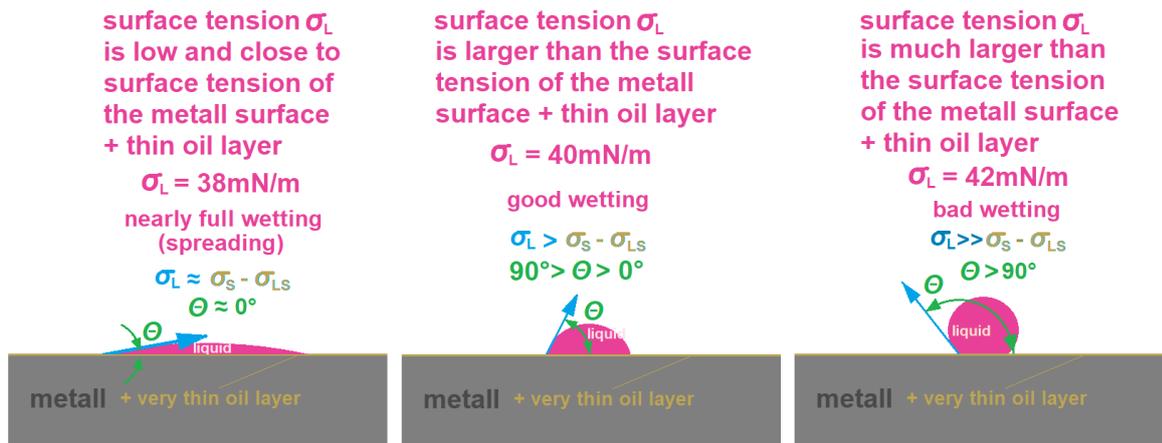
На следующей диаграмме схематично представлено, как при увеличении толщины пленки масла уменьшается поверхностное натяжение контактной поверхности (при этом контроль проводится каждый раз с одинаковыми тестовыми чернилами):

Смачивание контактной поверхности уменьшается с увеличением толщины пленки масла.



Для определения поверхностного натяжения контактной поверхности используется ряд тестовых чернил с различным поверхностным натяжением. Если поверхностное натяжение детали контакта составляет по крайней мере 38мН/м , можно начинать, например, с тестовыми чернилами такой же величины поверхностного натяжения: 38мН/м чернила смачивают, 40мН/м чернила уже не смачивают полностью, 42мН/м чернила стекают с поверхности контакта.

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



Метод с использованием тестовых чернил является простым и быстрым методом контроля, применяемым для выборочного контроля деталей. Желательно было бы напрямую определять толщину пленки остатков масла, но прежде это было сложно осуществить на практике.

Метод тестовых чернил используется уже для контроля наличия возможной тонкой пленки масла даже в промышленных условиях.

По этой причине в последующих измерениях в качестве референтного метода мы используем метод тестовых чернил.

3.4 Референтный метод и встроенное измерение

Референтный метод для определения поверхностного натяжения является методом контроля, при котором из производственного процесса выборочно извлекаются и контролируются отдельные детали, по которым судят о качестве поверхности всей партии изделий. Эти контрольные методы часто используются для лабораторного контроля или контроля на линии.

Все чаще, однако, производители стремятся к 100% - контролю производимой продукции, вследствие чего на первый план все больше выдвигается встроенный метод измерения.

В идеале встроенный метод измерения должен выдавать значения, которые сравнимы со значениями уже известного референтного метода, напр. метода измерения с помощью тестовых чернил. К примеру, значения встроенной измерительной системы для поверхностного натяжения детали должны указываться в мН/м.

Встроенные датчики серии SPECTRO-M предлагают функцию калибровки (ПРЕОБРАЗОВАНИЯ), с помощью которой значения MIR легко переводятся в значения автономной системы (метод тестовых чернил).

4 Области применения для датчиков SPECTRO-M

Принципиально все органические соединения, напр. полимеры, масла, ..., показывают колебательное поглощение в MIR-диапазоне. Однако каждый MIR-метод достигает предела своих возможностей, если слой органического вещества настолько велик, что вся энергия возбуждения поглощается, а полезный сигнал почти не рефлектируется.

Система работает хорошо, когда тонкая органическая пленка нанесена на неорганическую основу, то есть субстраты без MIR-поглощения. Обнаружение тонких пленок масла на металлах (в сфере обработки металла, особенно при штамповке) соответственно подходит для использования метода измерения MIR.

Датчики серии SPECTRO-M особенно хорошо подходят для следующих применений:

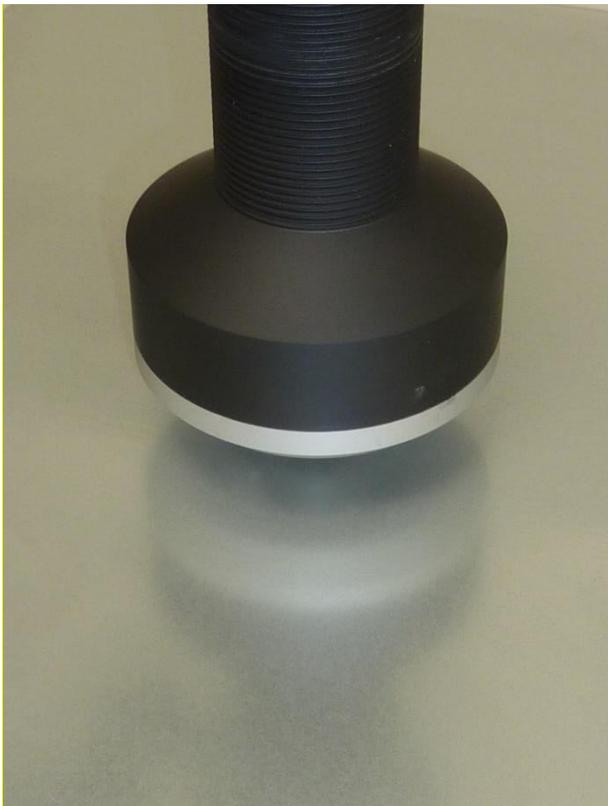
- Встроенный контроль поверхностного натяжения металлических поверхностей после очистки
- Встроенный контроль толщины тонкой, нанесенной на металлическую поверхность, пленки масла
- Лабораторный анализ для испарения масла на металлах и определение остаточного покрытия

В последующих разделах описаны наши тестовые измерения различных масляных продуктов и использованная методика.

5 Тестовые измерения на различных маслах

5.1 Мотивация для проведения измерений пленок масла на металлических поверхностях

При обработке металлов во время процесса формования обязательно применение масел. Например, нанесенные на металлические ленты штамповочные масла обеспечивают меньший износ инструмента. При операциях резки масла незаменимы для защиты сверлильного и фрезерного инструмента. Для полуфабрикатов, таких как листовой металл или металлическая фольга, масла служат также в качестве защиты от коррозии. После обработки, однако, необходимо по возможности полностью удалить остатки масла с готовых изделий. Этому служат специальные чистящие установки, в которых происходит промывка и обдувка металлических деталей.



Для того, чтобы даже во время нанесения масла соблюдались директивы по защите окружающей среды и учитывались экономические аспекты, целесообразно определить количество наносимого масла. В настоящее время определение соответствующего количества масла может проводиться также встроенно, во время производственного процесса. Часто для этого применяется метод измерения УФА-флуоресценции. Однако не все масла обладают необходимыми для этого свойствами флуоресценции, а дополнительные УФ присадки приводят к значительному увеличению расходов.

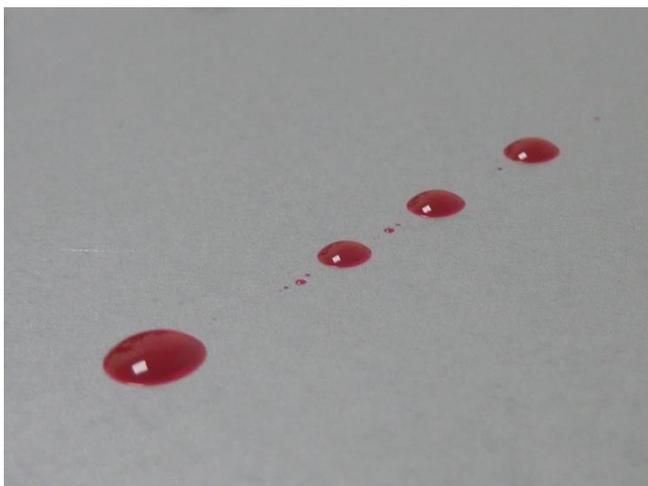
С помощью датчиков можно также осуществлять контроль качества процесса очистки. Задачей при этом является встроенно определить возможно малые количества остатков масла. Остатки масла снижают поверхностное натяжение и нарушают последующий процесс нанесения покрытий.

У находящихся под напряжением компонентов, напр. медных шин или силовых проводов, требуется возможно малое переходное сопротивление. Пленка остатков масла может создавать и здесь проблемы, значительно снижая мощность.

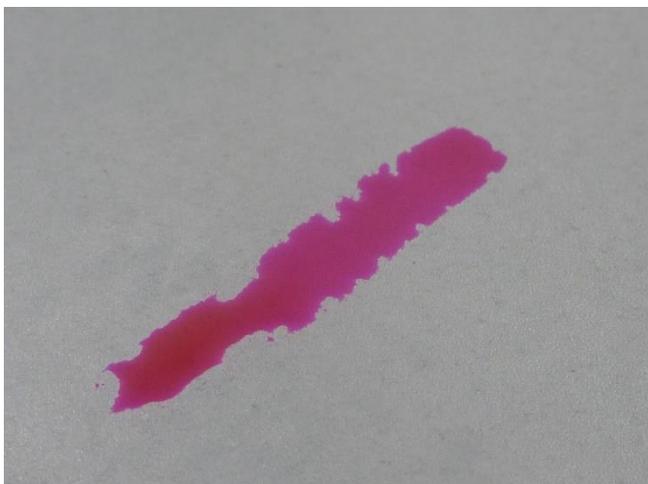
5.2 Метод тестовых чернил – широко распространенный референтный метод измерения для контроля остатков масла

При измерении слоя масла в первую очередь приходит мысль о толщине пленки, измеренной, например, в мкм. Одной из возможностей измерения было бы определение массы единицы поверхности масляной пленки. Но для этого требуется определить полный вес детали. Для такого измерения нужны точные весы и идентичная деталь без покрытия маслом для определения разницы в весе. Переход от массы единицы поверхности к толщине пленки требует дополнительной информации о плотности соответствующего масла, а также о поверхности соответственной детали. Большая разница в весе между собственно пленкой масла и деталью также не добавляет точности при определении толщины пленки. Кроме того источником ошибки может стать разница в весе обеих деталей еще до нанесения масла.

Недостаток эффективных и экономичных возможностей для измерения толщины остаточной пленки масла стал причиной того, что на практике все большую популярность набирает простой метод контроля для определения поверхностного натяжения металлических деталей. Наличие тонкой масляной пленки на металлической поверхности приводит к уменьшению поверхностного натяжения в $> 50\text{ мН/м}$ без покрытия до ниже 40 мН/м с пленкой масла (в зависимости от толщины пленки и сорта масла). Для подтверждения соответствующего поверхностного натяжения служат так называемые тестовые чернила, покрывающие диапазон в $30\text{ мН/м} - 50\text{ мН/м}$ сдвоенными шагами (30 мН/м , 32 мН/м , 34 мН/м , ...). Тестовые чернила при этом наносятся штрихами на контролируемое место с помощью поставляемой с бутылочкой чернил кисточки. Если чернила собираются на поверхности в капли, то таким же образом наносятся следующие по величине значения чернила, до тех пор, пока чернила не останутся длительное время на поверхности и не станут стекать с нее. Значение поверхностного натяжения тогда будет находиться между значениями двух последних использованных тестовых чернил. Принцип заключается в том, что уменьшение поверхностного натяжения сопровождается увеличением толщины пленки масла.



Тестовые чернила собираются в капли на покрытой маслом металлической поверхности, что указывает на поверхностное натяжение ниже значения тестовых чернил.



На этом изображении тестовые чернила, нанесенные на покрытую маслом, но обезжиренную металлическую поверхность, удерживаются. Поверхностное натяжение металлической поверхности, таким образом, выше указанного на чернилах значения.

5.3 Система и методика измерения

Для лабораторных измерений датчики SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) снабжены проставкой или автономной насадкой. (см. изображение справа)

С помощью ПС-программы SPECTRO MIR Scope v1.0 датчик конфигурирован для тестов, функция ЗАПИСИ обеспечивает запись и экспорт замеренных значений в Excel®, что используется для обработки данных.

В качестве объекта измерения использовалась обезжиренная стальная пластина, на поверхность которой были нанесены слои одного и того же масла различной толщины (слои масла изменялись при этом в диапазоне <1мкм и прим. 20мкм). Тест проводился над различными объемами масла (в секторах 1,2,3: средний объем масла, в секторах 4,5,6: небольшой объем масла и в секторах 7,8,9: большое количество масла). В заключение пятно масла каждый раз с помощью одноразовой салфетки равномерно распределялось по поверхности диаметром в прим. 60мм. Этот процесс был выполнен во всех указанных секторах. Затем, уже распределенное по поверхности масло в секторах 2,3,5,6,8 и 9 было еще раз распределено с помощью одноразовой салфетки без изменения диаметра соответствующего сектора. Этот процесс был еще раз повторен в секторах 3,6 и 9.



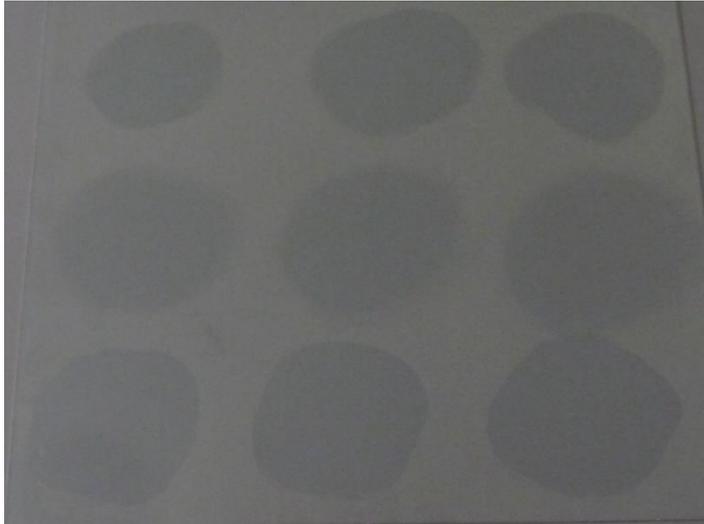
Замечания к пластинам с образцами масла:

1,2 и 3: средняя толщина пленки (от 1 до 3 по убывающей)

4,5 и 6: незначительная толщина пленки (от 4 до 6 по убывающей)

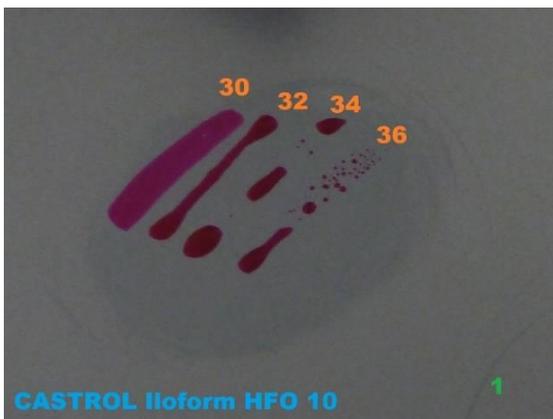
7,8 и 9: большая толщина пленки (от 7 до 9 по убывающей)

10,11,12 и 13: сектора, служащие референтному измерению (сектора без нанесенного масла).



Стальная пластина с 9 различными секторами. После соответственного теста с определенным сортом масла металлическая пластина была почти полностью очищена от масла (обезжирена). Чтобы проверить, удалено ли с металлической пластины масло от предыдущих тестов, измерения проводятся также между отдельными участками с нанесенным маслом (секторами 1-9). Эти области обозначены как сектора 10-13.

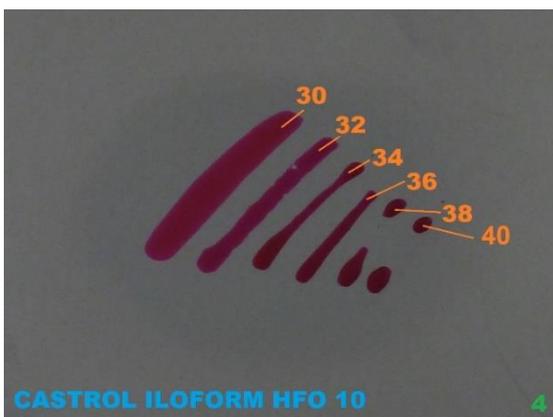
Как уже упоминалось выше, в качестве ссылки для данных измерений служит контроль поверхностного натяжения с помощью тестовых чернил в соответственных секторах. Этот контроль был проведен с помощью имеющихся тестовых чернил (30мН/м – 50мН/м) для каждого сорта масла. Это было выполнено после измерения с тремя различными SI-сенсорными системами, так как нанесенные тестовые чернила могли бы исказить результаты оптических измерений.



Образец масла: CASTROL Iloform HFO 10

Тестовые чернила: 30мН/м, 32мН/м, 34мН/м и 36мН/м

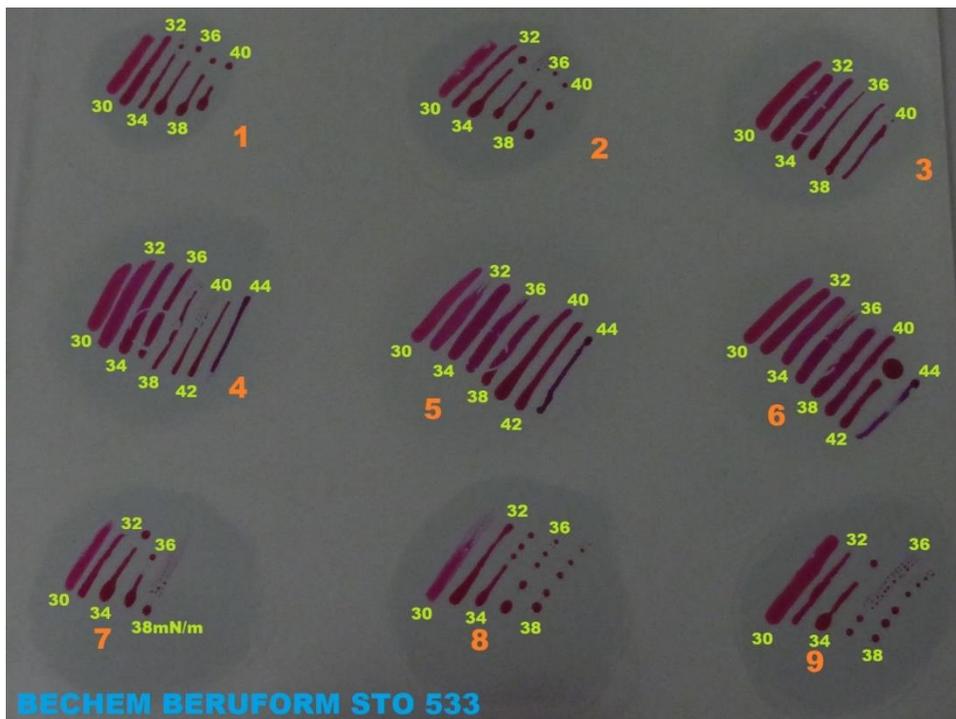
Сектор: 1



Образец масла: CASTROL Iloform HFO 10

Тестовые чернила: 30мН/м, 32мН/м, 34мН/м, 36мН/м, 38мН/м и 40мН/м

Сектор: 4



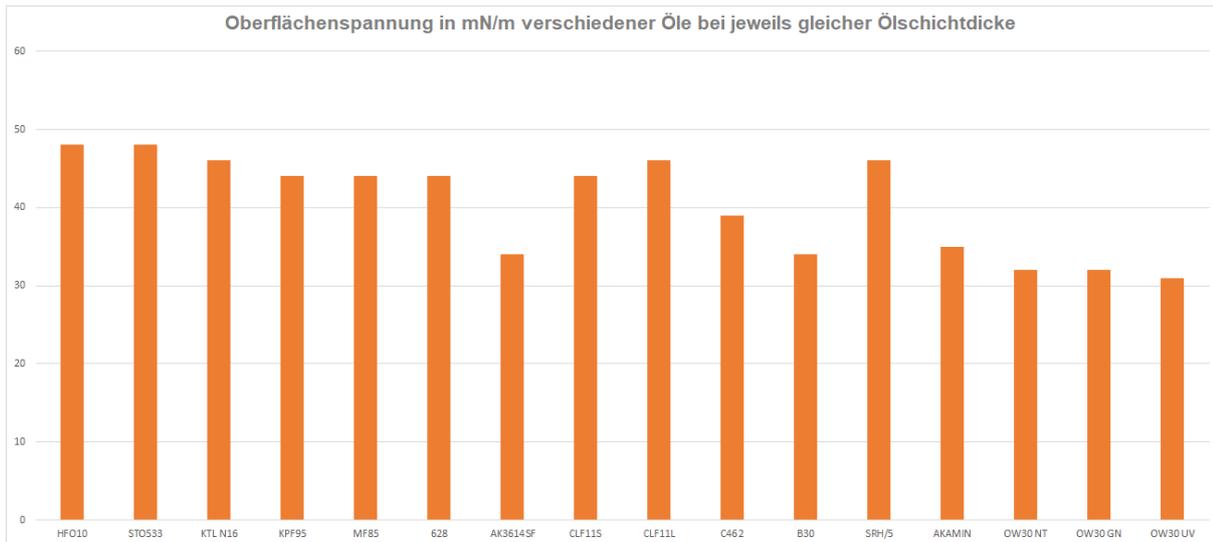
Образец масла: BECHEM BERUFORM STO 533, использованные чернила: 30мН/м – 44мН/м в 9 различных секторах

5.4 Перечень проверенных сортов масел

Был проведен тест следующих масел:

- 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

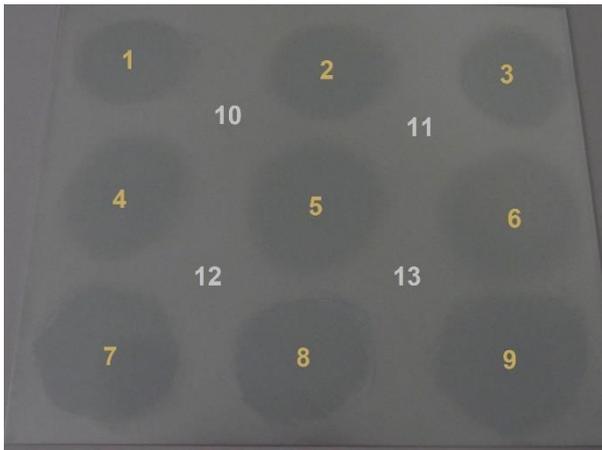
Сравнение поверхностного натяжения различных масел при примерно одинаковой толщине масляной пленки



При проверке различных масел было выявлено, что поверхностное натяжение при примерно одинаковой толщине пленки масла принимает различные значения в зависимости от сорта масла:

Сравнению при этом подверглись значения поверхностного натяжения в секторе 6, т.е. с незначительным количеством нанесенного масла (толщина пленки прим. <1мкм). Делать выводы о поверхностном натяжении только на основании толщины пленки масла без знания сорта масла невозможно.

5.5 Контроль остатков масла с помощью SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2)

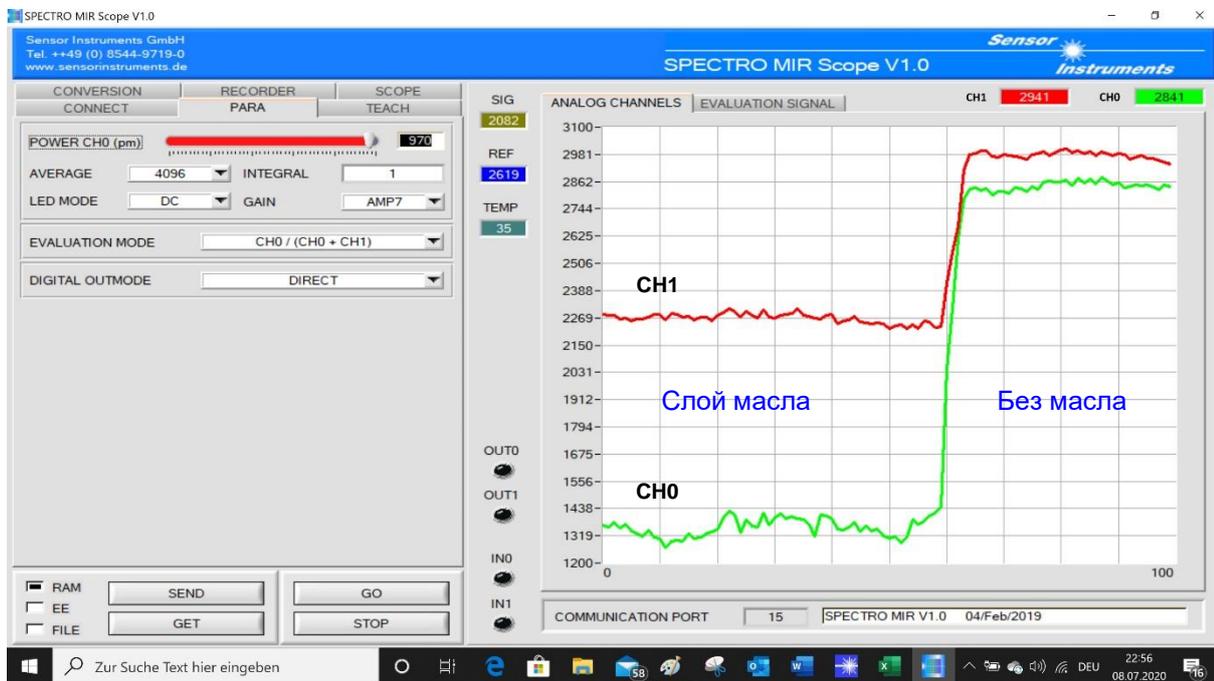


5.5.1 Датчик MIR и применение

С помощью **SPECTRO-M-10-MIR/(MIR/MIR1)** поочередно, с рабочим расстоянием в 10 мм, проводились измерения в позициях 1-9, в то время как позиции 10-13 служили в качестве референтных. Нормированное измеренное значение получается из обоих замеренных значений в обоих окнах измерения в MIR –

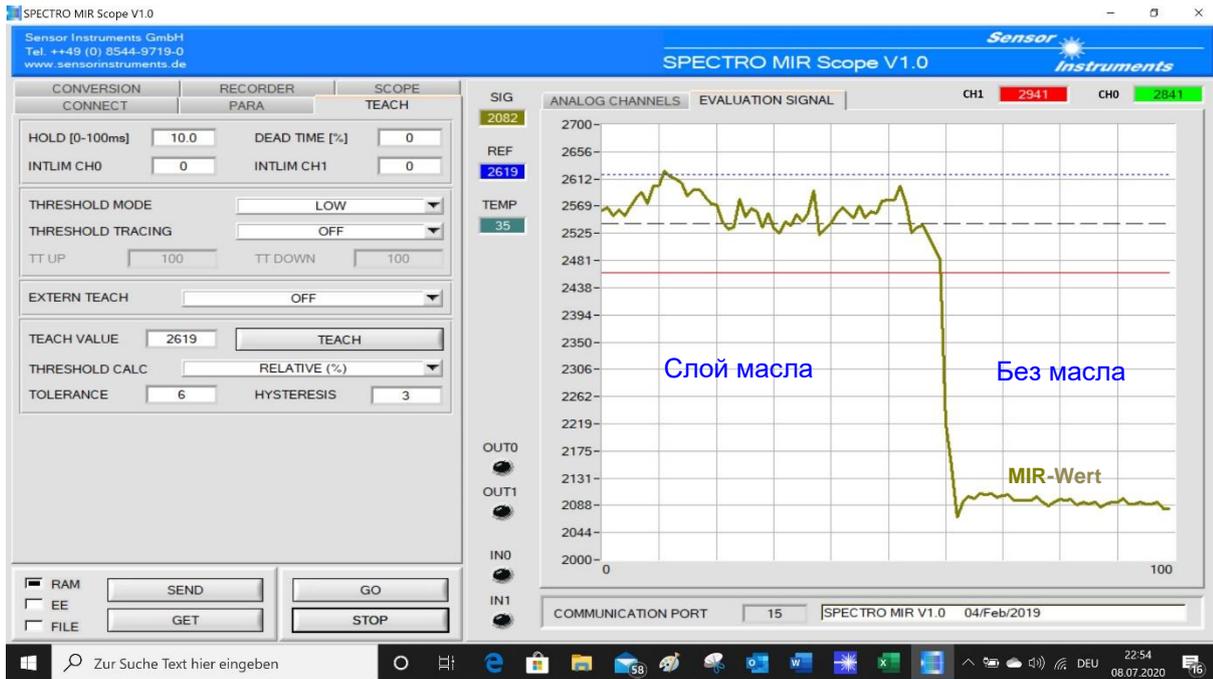
Во время измерения было осуществлено соединение с ПК с помощью последовательного интерфейса. Параметрирование датчиков, а также цифровое и графическое отображение данных измерения произведено при этом с помощью Windows® - ПО **SPECTRO MIR Scope V1.0**.

С помощью программы, в EVALUATION MODE можно выбрать, как образуется нормированный сигнал: $MIR = CH0/(CH+CH1)$ или $MIR = CH1/(CH0+CH1)$



Из-за пленки масла изменяются также оптические свойства металлической поверхности, поверхность становится более темной и потому уменьшается также оптическое отражение на обоих каналах.

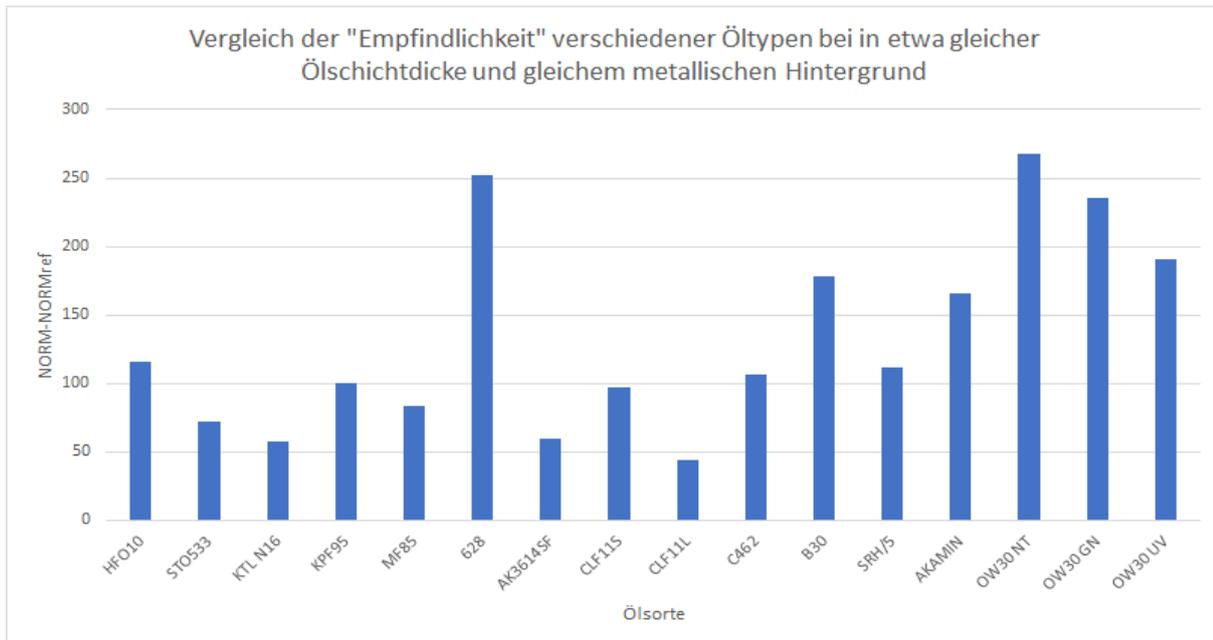
Наряду с индикацией обоих замеренных значений CH1 (референтное значение при 4мкм) и CH0 (замеренное значение при 3мкм) отображается также нормированное $SIG = MIR$ -значение = $CH1/(CH0+CH1) \times 4095$.



Индикация нормированного MIR-значения = $SIG = CH1/(CH0+CH1)$

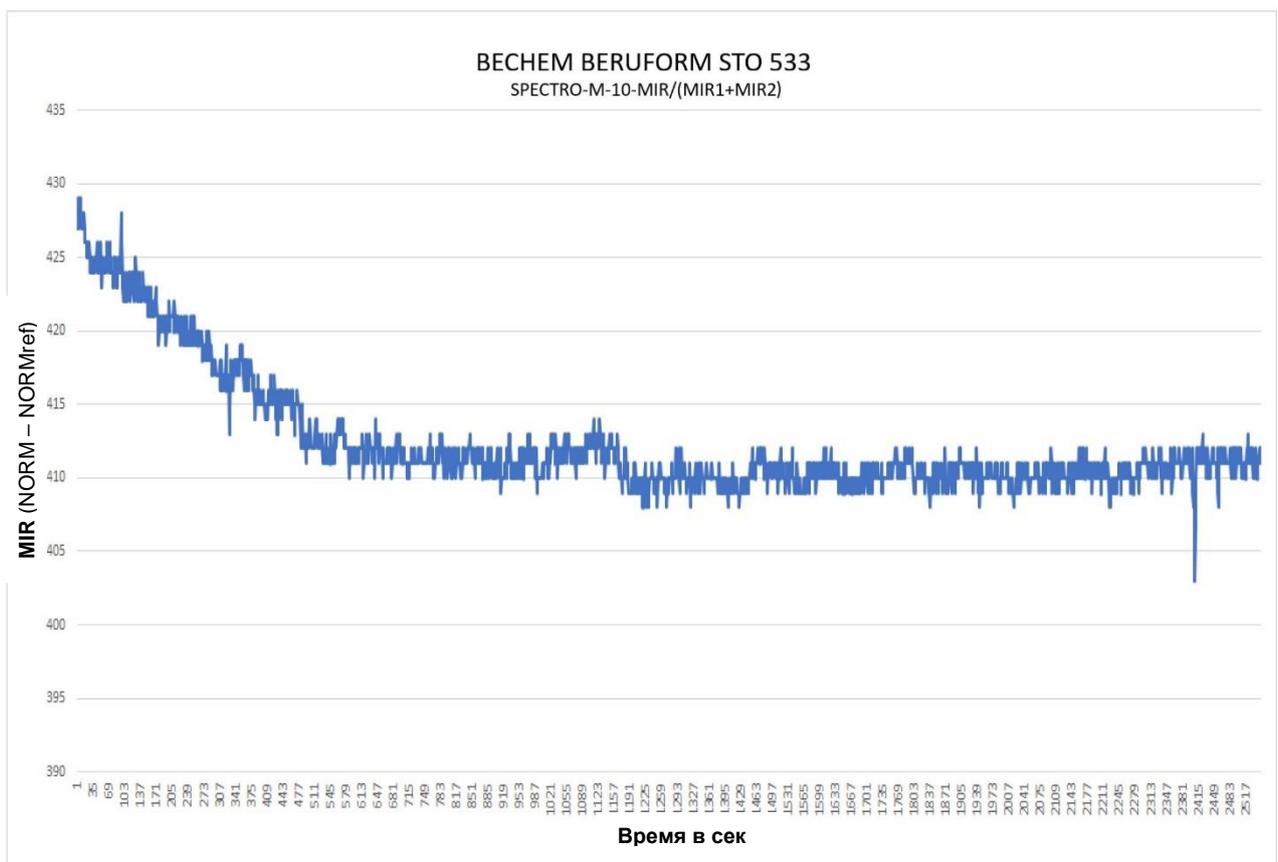
Для встроенного измерения можно обратиться также к программе ПК „MIR Monitoring“. Оператору установки во время производства на мониторе ПК с помощью столбчатой диаграммы будет показана актуальная ситуация и тенденция, касающиеся качества. Также имеется возможность записать и сохранить данные измерений в формате ASCII, с тем, чтобы они могли быть затем обработаны с помощью программы обработки электронных таблиц, напр с. Excel®.

5.5.2 Сравнение чувствительности различных масел при одинаковой толщине масляной пленки



При методе измерения MIR также были установлены различия в чувствительности у разных сортов масел (при сравнительно одинаковой толщине пленки). В сравнении с обоими УФ методами измерений здесь были детектированы все сорта масел, а самая чувствительная и самая нечувствительная пробы отличались в 7 раз.

5.5.3 Зависимость сигнала измерения MIR от времени



Некоторые из проверенных масел были способны испаряться. Это означает, что при наблюдении в течение продолжительного времени замеренный сигнал становился слабее, пока он не устанавливался на определенное значение. Тестовые измерения масел проводились в течение продолжительного времени для изучения такого поведения сигнала. Для этого датчик был установлен в место измерения, на которое был нанесен слой масла определенного сорта, данные измерений записывались продолжительное время (прим. 43 мин.).

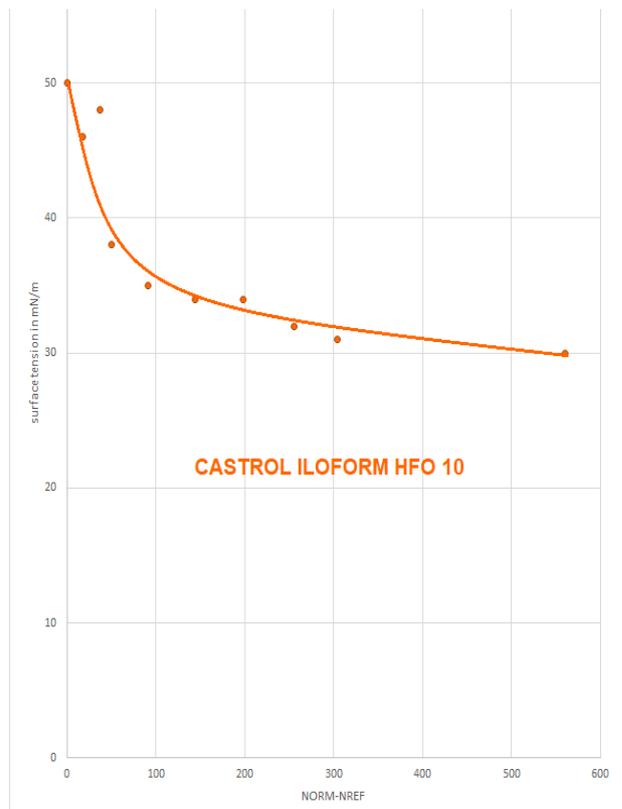
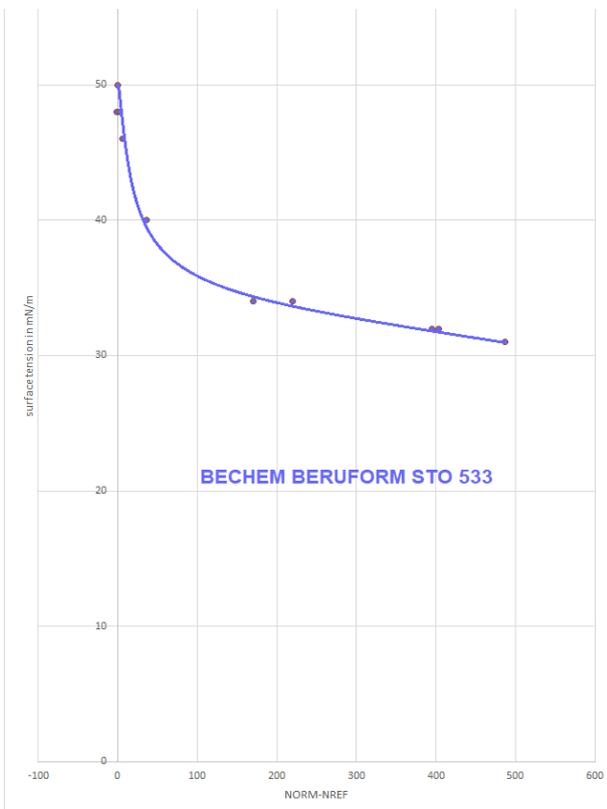
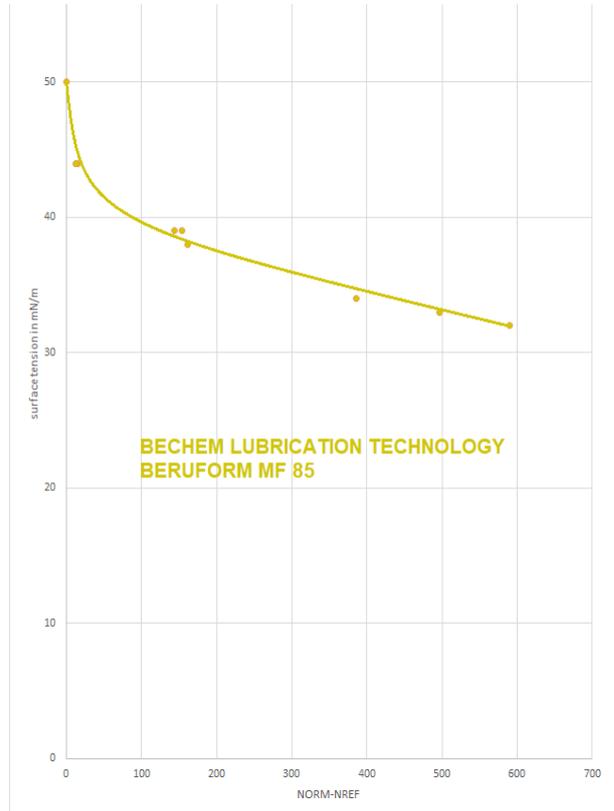
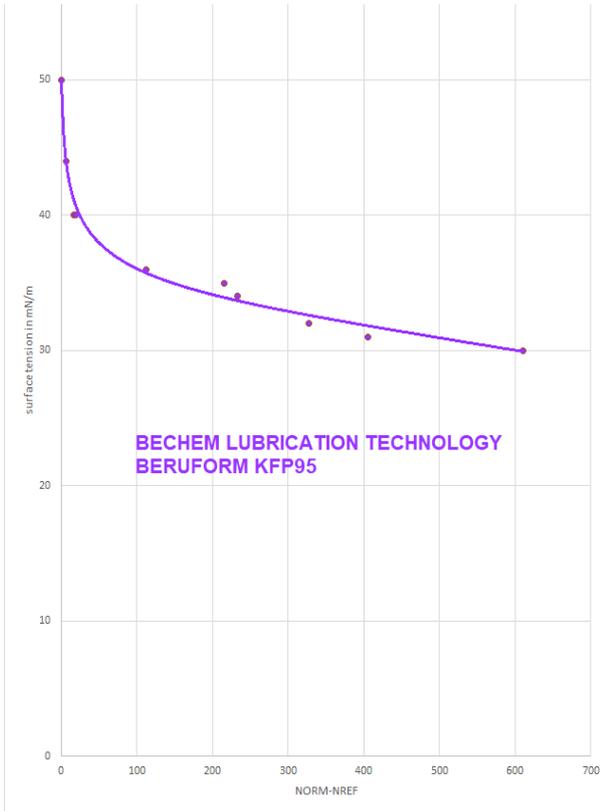
У масла BECHEM BERUFORM STO 533 было установлено уменьшение нормированного диапазона на прим. 5% по отношению к начальному сигналу (что отвечает коэффициенту в 1,05). Наблюдаемый эффект возникает скорее всего потому, что часть масла испаряется и устанавливается равновесие.

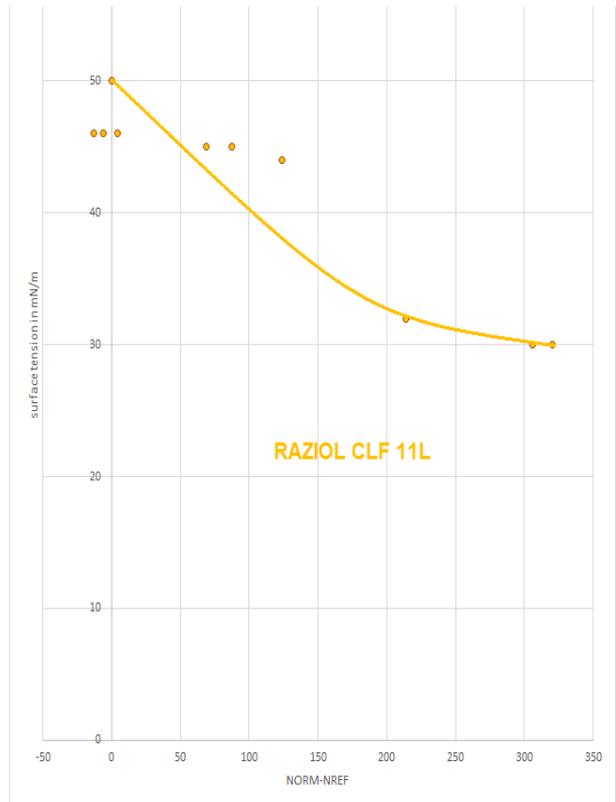
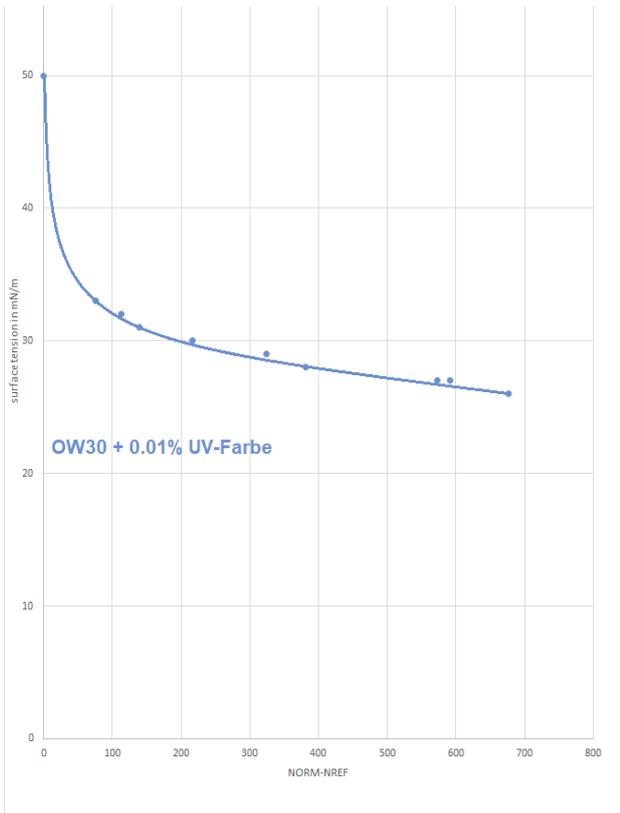
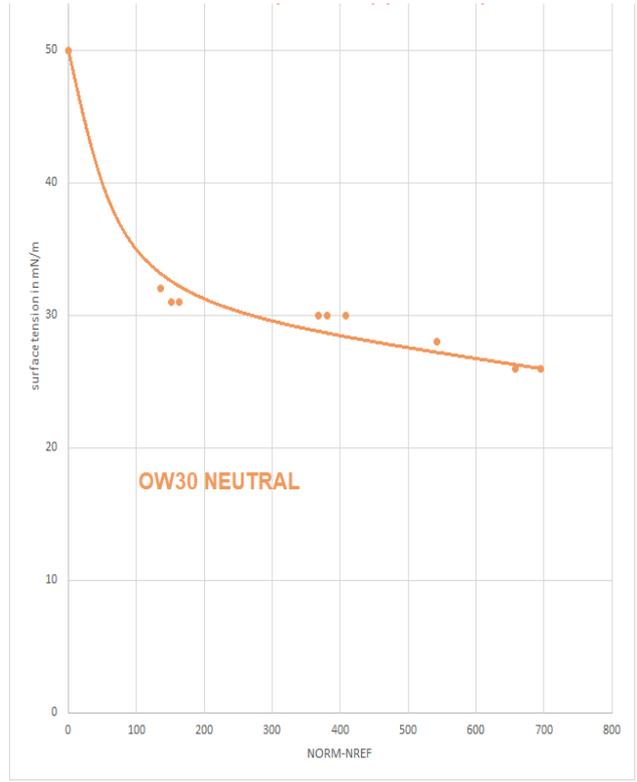
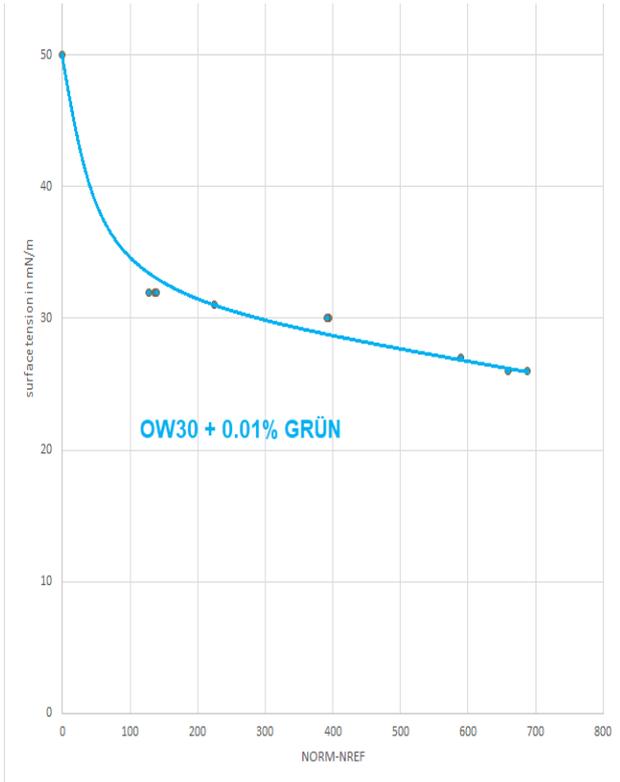
Так как в MIR-диапазоне энергия возбуждения в 10 раз меньше, чем при методах измерения с UVA и UVC, влияние MIR-возбуждения на полимерные соединения и, тем самым на измерение, значительно меньше, чем при сравнительно высокоэнергетическом УФ возбуждении.

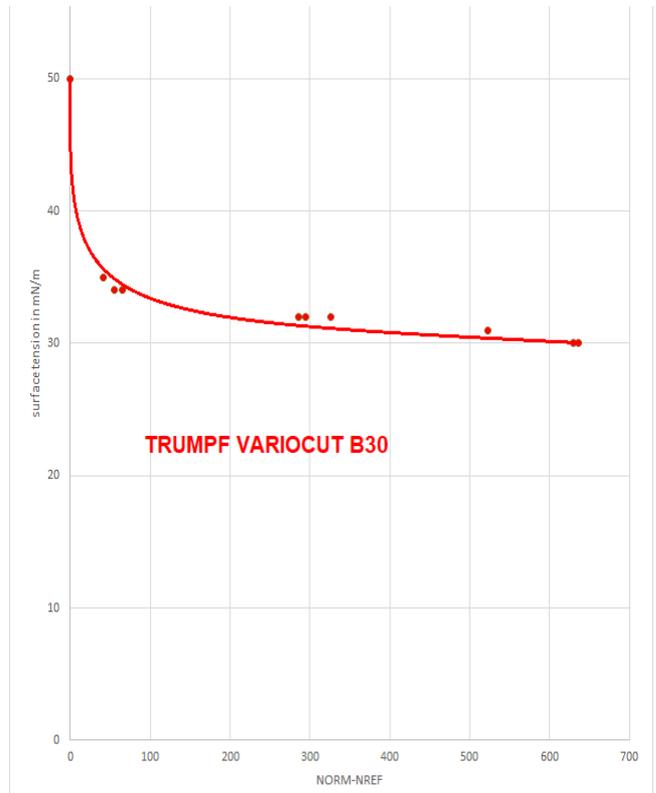
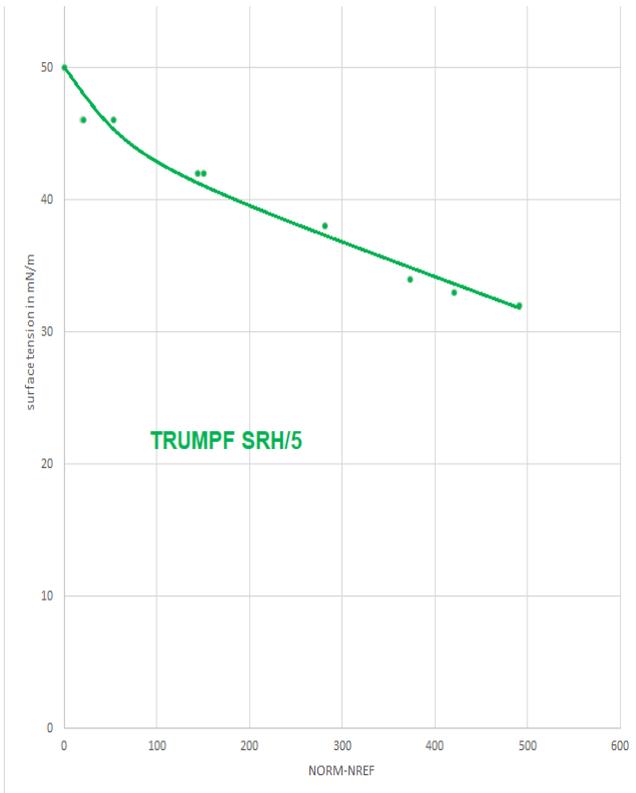
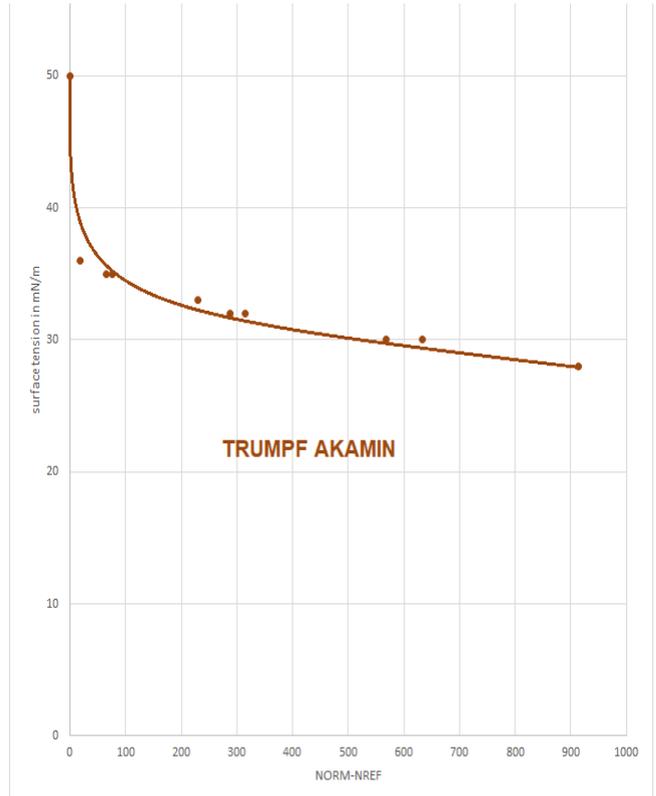
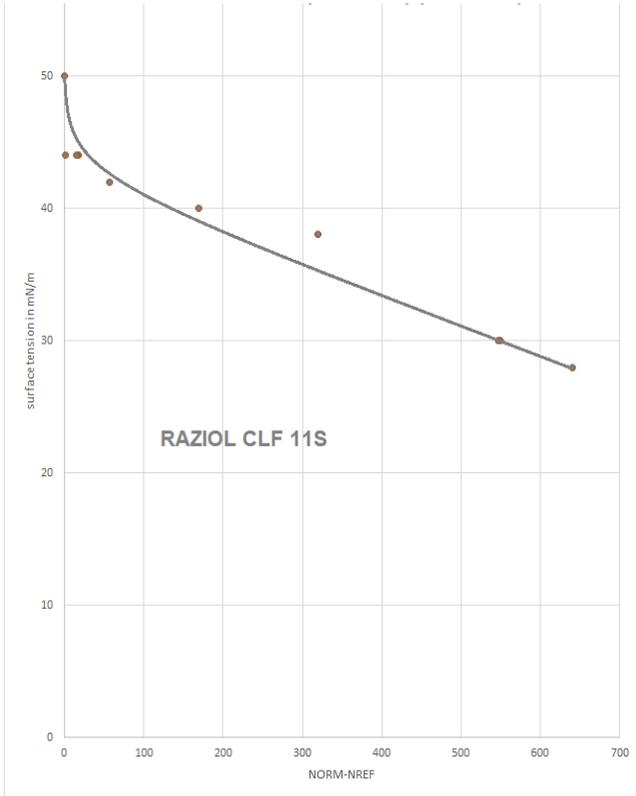
5.5.4 Соотношение между MIR-сигналом и измеренным поверхностным натяжением для каждого сорта масла

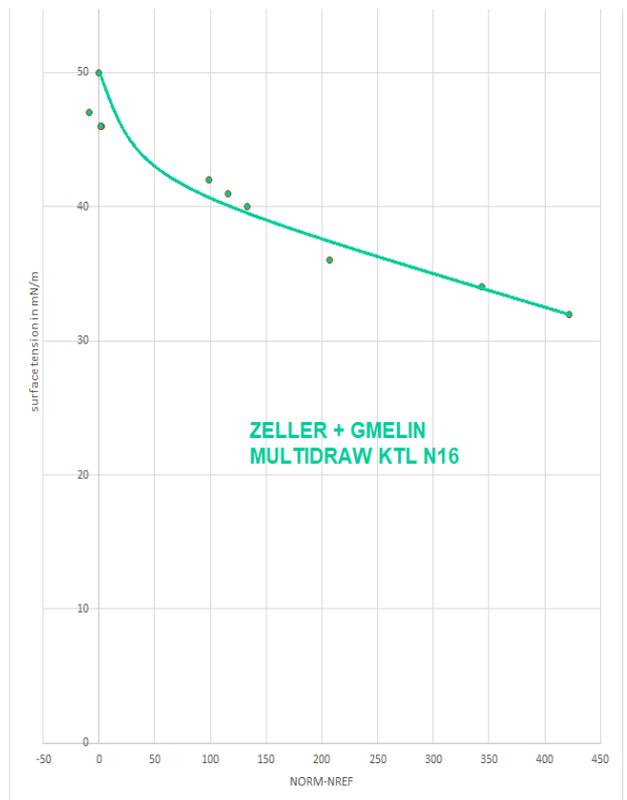
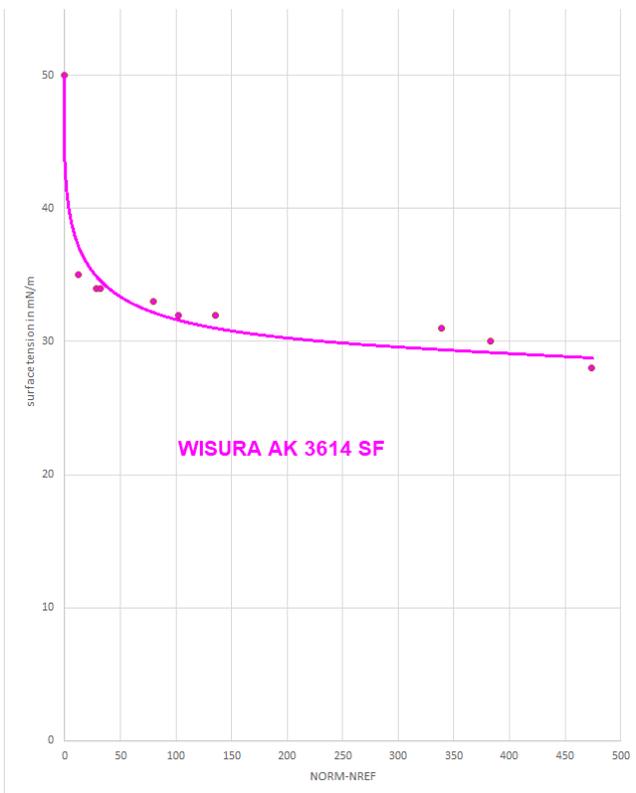
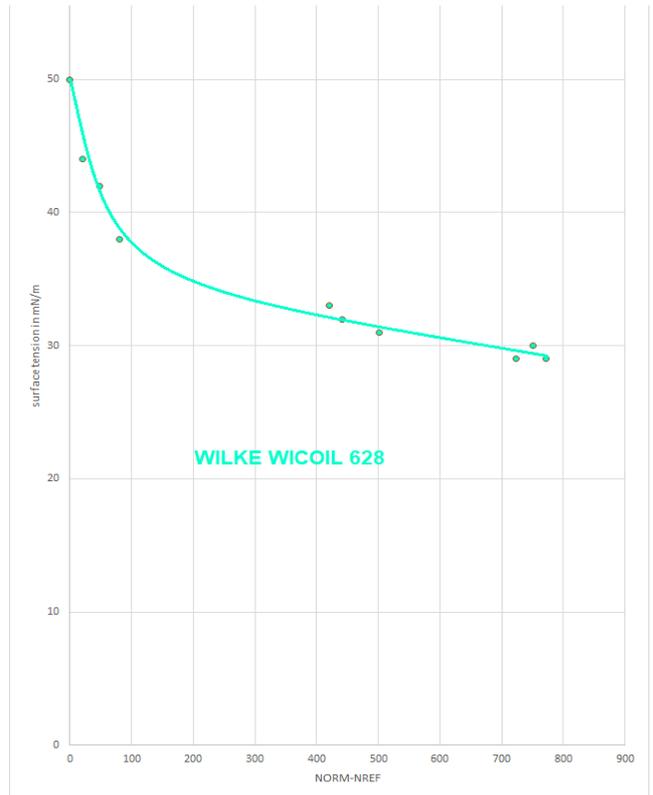
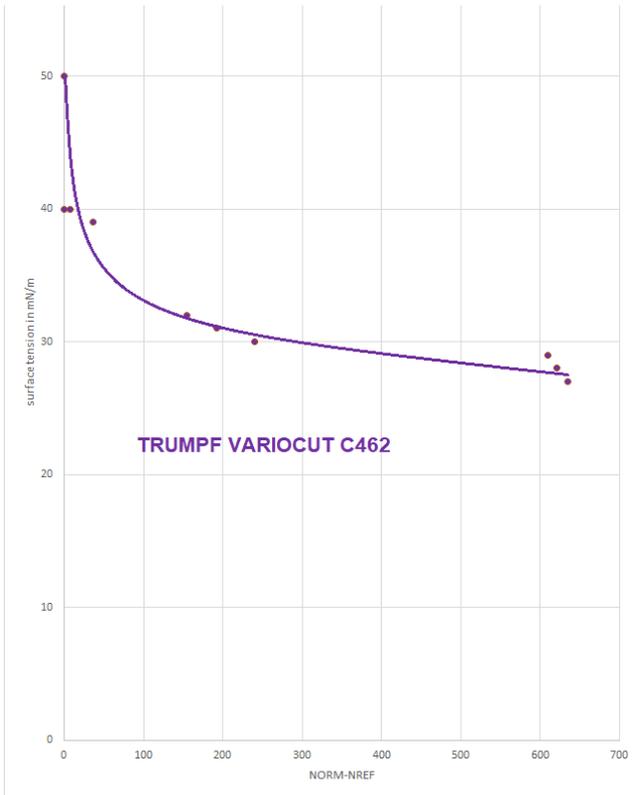
Сорта масла были измерены на позициях 1 - 9 (**NORM**) после того, как сначала на четырех референтных позициях (позиции 10, 11, 12, 13) было получено среднее референтное значение (**NORMref**). Разница между обоими значениями **NORM - NORMref** служит в качестве меры для поверхностного натяжения.

На следующих графиках показаны результаты измерений. На ординату (x-ось) нанесены измеренные MIR-значения = **NORM - NORMref** датчика SPECTRO-M-10-MIR, на координату (y-ось) значения поверхностного натяжения в **мН/м**, определенные с помощью метода красных тестовых чернил.

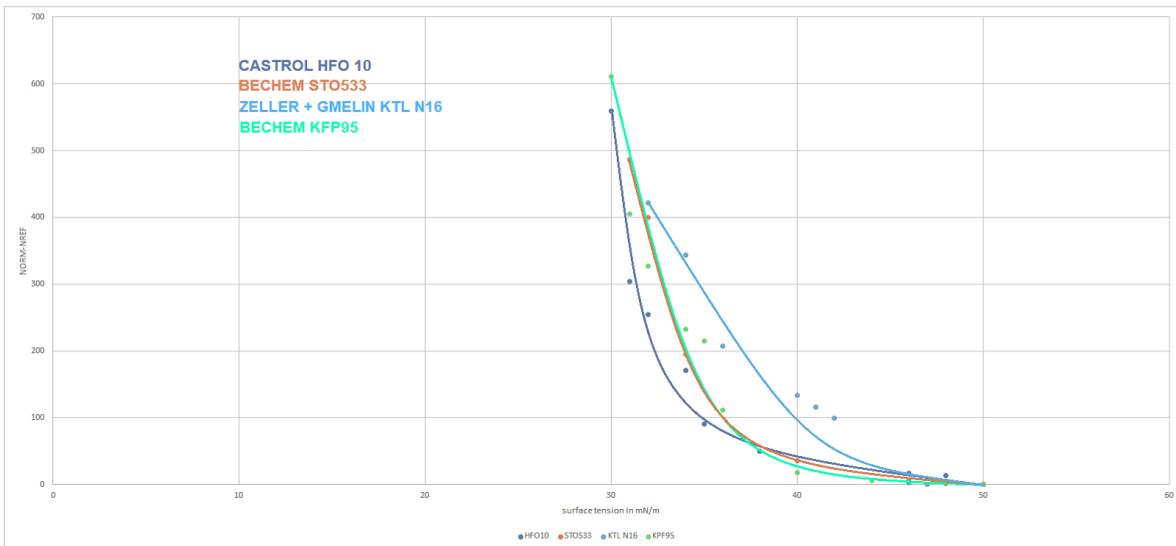
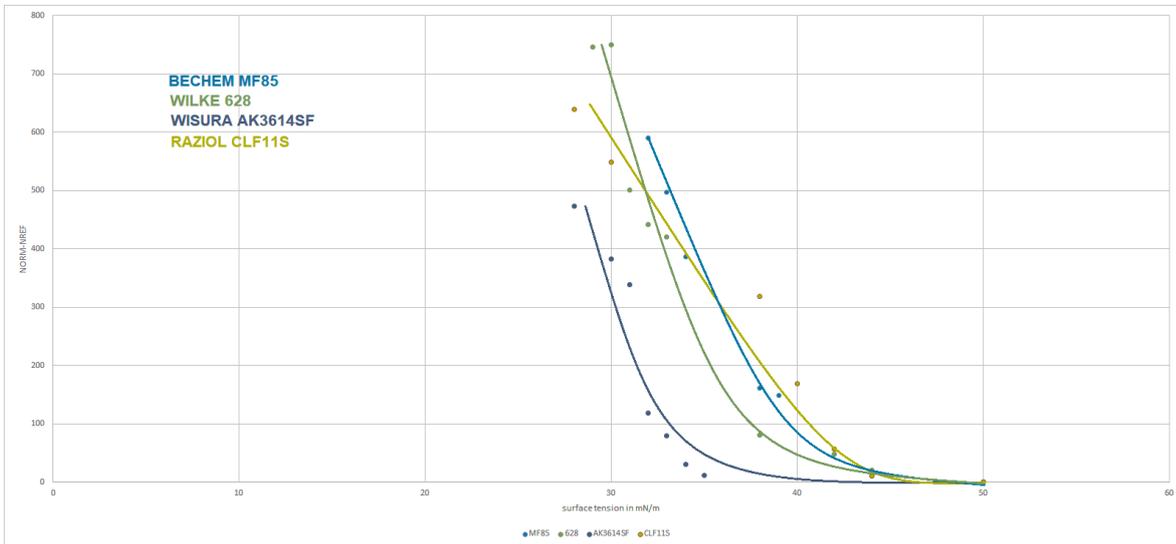
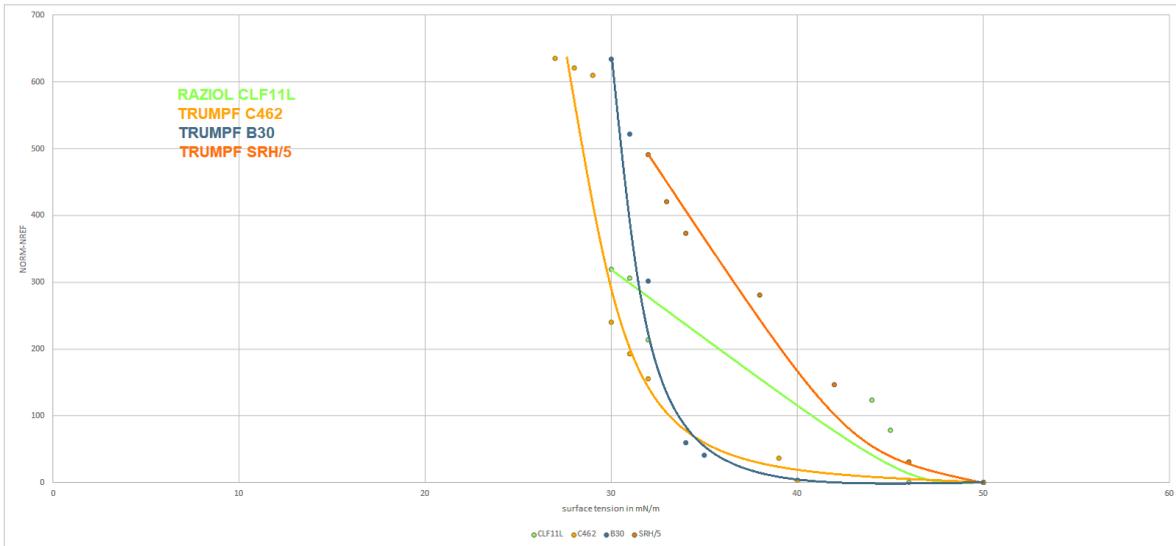


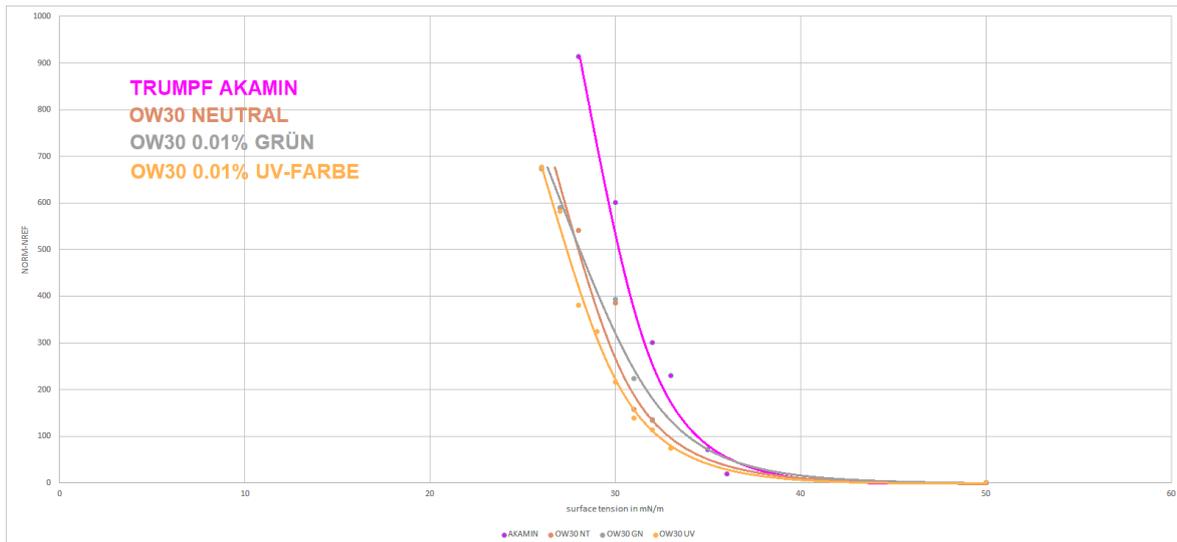






5.5.5 Сравнение замеренных значений MIR в зависимости от поверхностного натяжения





Кривые измерений показывают, что даже при методе измерения MIR рекомендуется проведение калибровки (Normref) на базовую металлическую поверхность. Для калибровки референтного метода измерения выбранные масла должны быть измерены обоими методами и значения введены в CONVERSION-Tool ПО SPECTRO MIR Score.

Обе калибровки могут быть при этом проведены пользователем с помощью Windows® - ПО **SPECTRO MIR Score V1.0**. Дополнительно к соответствующему нормированному значению NORM указывается также значение поверхностного натяжения.

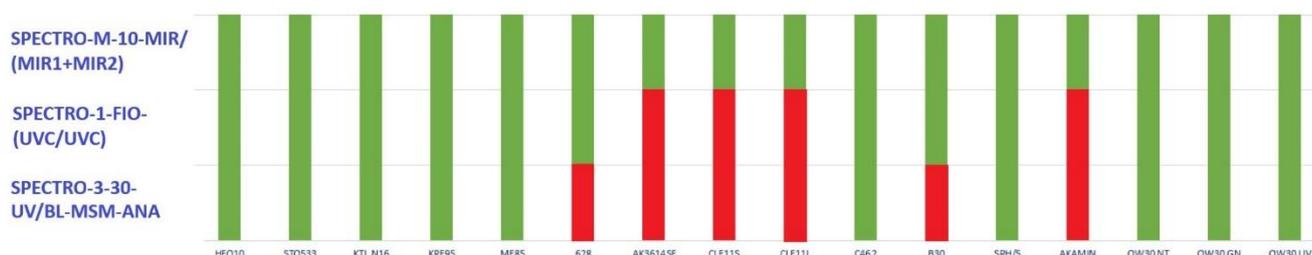
5.5.6 Сравнение MIR-метода с UVA- и UVC-датчиками

Параллельно с измерениями с системой MIR те же самые масла были протестированы фирмой Sensor Instruments с УФ-датчиками (UVA и UVC).

SPECTRO-1-FIO-(UVC/UVC) является датчиком световода с возбуждением в UVC (265nm) и с отражением/поглощением в UVC, в то время как SPECTRO-3-30-UV/BL-MSM-ANA является флуоресцентным датчиком с UVA-возбуждением (высокомощный СИД, 365nm), анализирующим эмиссию в видимом диапазоне (тип. 450nm – 700nm).

На основании характеристик проверенных масел, оба УФ-датчика не могут регистрировать все масла, так как отдельные масла не показывают или показывают незначительные, неанализируемые UVA-флуоресценцию или UVC-поглощение. Следующая таблица сравнивает метод измерения MIR с двумя УФ-методами измерения относительно их пригодности для измерения проверенных сортов масел.

Какие масла подходят для соответствующего метода измерения (зеленый: подходит, красный: не подходит):



Сравнение других важных критериев методов измерения:

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.

В сравнении с УФ-методом измерения со световодом (маленькое пятно измерения) при измерении с SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) требуется большая тестируемая поверхность, которая должна быть ровной. При всех других критериях этот метод лучше, чем УФ-метод. Одним из главных преимуществ метода измерения MIR является нормированный анализ данных. Хотя он не может заменить индивидуальную калибровку по сортам масла и металлической поверхности, однако варианты металлической поверхности, а также дрейф интенсивности использованного источника света могут быть преимущественно компенсированы. При использовании искусственного света (СИД-лампы белого света) для освещения помещения (внешнее освещение) влияния на результаты измерения не наблюдается.

5.5.7 Заключение Контроль остатков масла

Наличие пленки масла на металлических поверхностях проверяется на практике выборочно, автономными методами напр. с помощью тестовых чернил. Речь здесь идет о контактном методе, так как чернила должны наноситься на соответствующую поверхность. Кроме того, данный метод тестовых чернил делает определение поверхностного натяжения зависимым от визуального наблюдения испытателя (образование капель да/нет и за какое время?), а факт, что существует только грубая градация тестовых чернил относительно поверхностного натяжения (с интервалами в 2мН/м) не придает анализу необходимой точности. Также для этого метода требуется довольно большая тестируемая поверхность (ширина штриха кисти x прим. 15мм в длину). Уже описанные методы измерения 1 и 2 требуют очень маленьких измеряемых поверхностей, имеют однако один недостаток, это то, что не все масла реагируют на данный физический эффект и остаются практически нейтральными.

Серия SPECTRO-M предлагает встроенные датчики, которые после референтной настройки (с очищенной металлической поверхностью) бесконтактно могут обнаруживать очень тонкие пленки масла (< 1кмк) на металлической поверхности.

С помощью функции датчика ПРЕОБРАЗОВАНИЕ можно увязать нормированные MIR-значения датчика с референтными значениями из других методов для измерения поверхностного натяжения. После калибровки референтной системы датчик автоматически преобразует измеренные значения до их индикации или выдачи в значения референтной системы. Выдача измеренных значений на ПЛК может осуществляться через интерфейс передачи данных или аналоговый выход (0...10В, или 4...20мА).

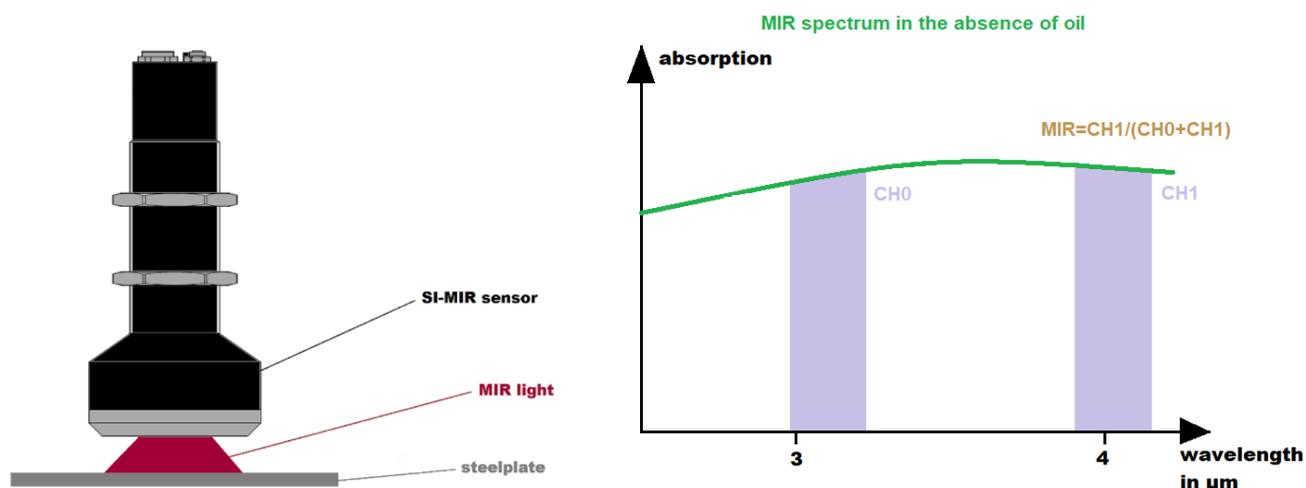
5.6 Встроенный контроль толщины масляной пленки

Если, например, необходимо определить толщину слоя нанесенного на бумагу покрытия, напр. печатной краски, самым подходящим, наверное, был бы метод измерения веса единицы площади. Масса печатной краски, отнесенная к единице площади, не будет сильно отличаться от массы бумаги толщиной от 0,05м до 0,2мм, отнесенной к единице площади. С помощью весов соответствующей точности можно получить надежный результат. Что происходит, если вместо печатной краски взять масло, а вместо бумаги стальной лист толщиной, напр. 1мм? Метод измерения веса единицы площади здесь не подойдет.

Как же все-таки надежно, без излишних сложностей, бесконтактно определить толщину масляной пленки? В первую очередь здесь следует рассмотреть флуоресцентный метод. При этом для возбуждения флуоресценции используется ультрафиолетовый свет. Вторичная же эмиссия происходит в видимой области спектра. Интенсивность флуоресценции является здесь мериллом толщины соответствующей масляной пленки. Существуют также масла, эффект флуоресценции у которых полностью или в значительной степени отсутствует и не допускает такого измерения толщины масляной пленки. У очень тонких пленок сигнал флуоресценции выражен недостаточно.

Если обратиться к среднему диапазону инфракрасного излучения (MIR), то можно заметить, что у органических покрытий, напр. слоя масла, наблюдается значительное поглощение в CH_0 , в то время как окно референтных длин волн (CH_1) поглощение не регистрируется.

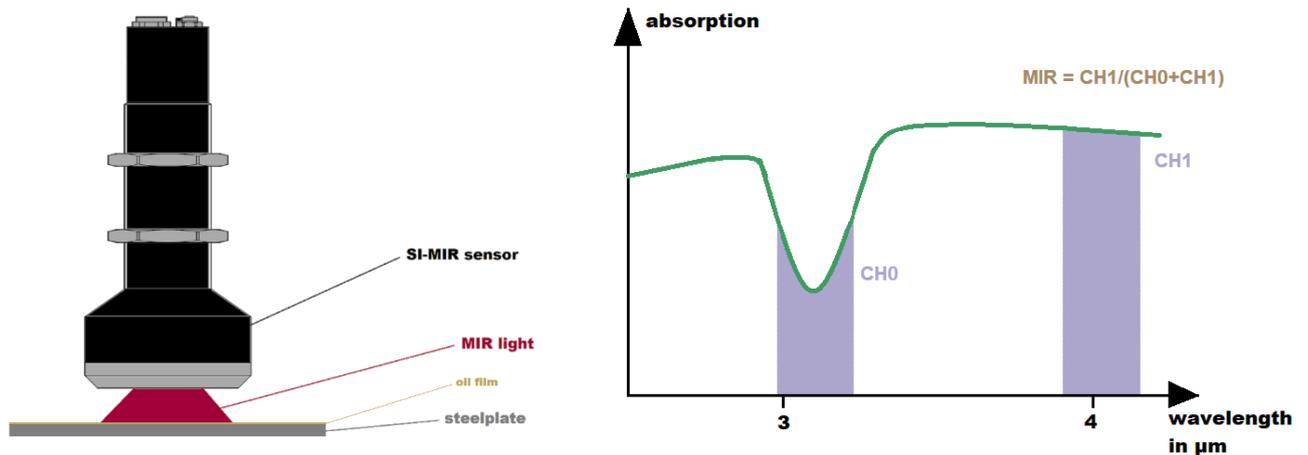
MIR-сигнал датчика SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) указывает на (приблизенно) прямо пропорциональную зависимость между толщиной слоя масла и нормированным сигналом.



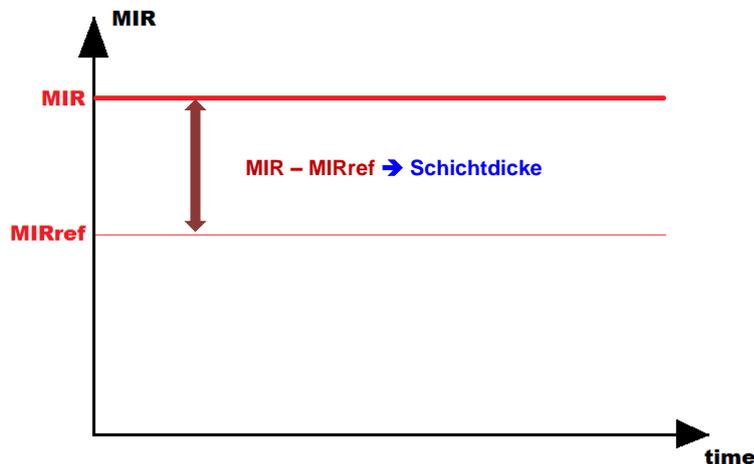
Датчик SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) имеет два окна длин волн для анализа отраженного сигнала. Без пленки масла поглощение в обоих окнах длин волн примерно одинаково. Это значение может использоваться в качестве референтного значения для очищенной от масла металлической поверхности: $\text{Mref} = \text{CH}_1/(\text{CH}_0+\text{CH}_1)$ и соответствует нормированному референтному значению поверхности металла без пленки масла, при этом CH_0 и CH_1 являются установленными исходными сигналами из обоих окон длин волн.

Если сейчас покрыть стальную поверхность равномерным слоем масла, то в спектре MIR произойдет повышение MIR-сигнала:

MIR spectrum in the presence of oil



Измерительный канал CH0 (слева) регистрирует дополнительное, вызванное пленкой масла, поглощение, на правом же измерительном окне CH1 (справа) это почти не отражается.



$MIR = CH1 / (CH0 + CH1)$ смещается из-за дополнительного поглощения, в CH0-окне, вверх. Чем интенсивнее поглощение, т.е. чем толще, например, пленка масла, тем больше значение MIR отличается от референтного значения MIR_{реф} (без пленки масла).

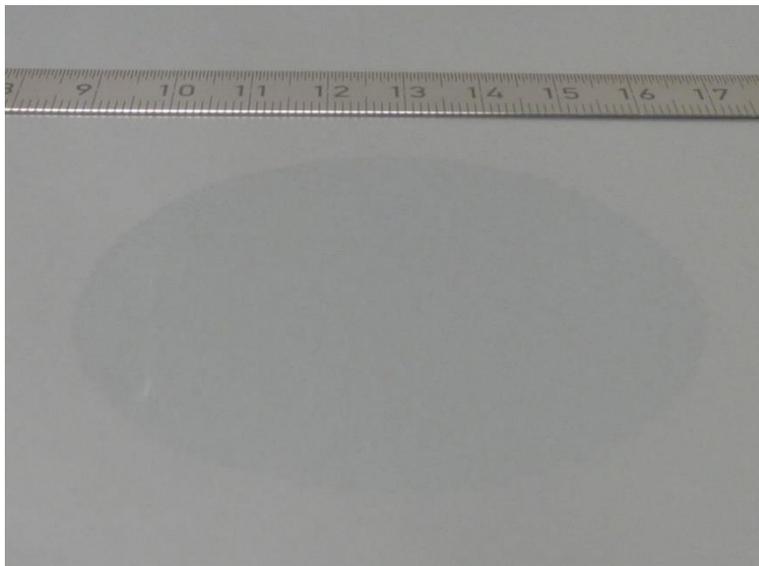
На основе исследования, проведенного с различными сортами масел, было установлено, что поглощение MIR зависит не только от толщины пленки масла, но и от сорта масла. На результат измерений дополнительно влияет также отражающая металлическая поверхность, поэтому перед проведением измерения толщины масляной пленки следует провести калибровку относительно сорта масла и соответствующей металлической поверхности.

Порядок действий: Для проведения тестов на обезжиренные металлические поверхности одного и того же типа последовательно наносились капли масла в 20мкл. Затем капли масла с помощью шпателя равномерно распределялись по поверхности с диаметром в 70мм. Таким образом можно определить толщину пленки: при объеме масла в 20мкл и диаметре масляного пятна в 70мм толщина пленки составляет прим. 5мкм, при двух каплях (40мкл) соответственно 10мкм, при 3 каплях (60мкл) – 15км и т.д..



После того, как на образцы будет нанесена пленка соответствующей толщины, можно начинать серию измерений. Сначала установленное значение для металлической поверхности MIR_{реф} (на свободных от масла участках) определяется между пробами масла. После калибровки датчик **SPECTRO-M-10-**

MIR/(MIR1+MIR2) последовательно позиционируется на поверхности с различными образцами и регистрируются значения измерений при соответствующей толщине пленки.



По завершении процесса получается таблица значений, представленная ниже в виде диаграммы:

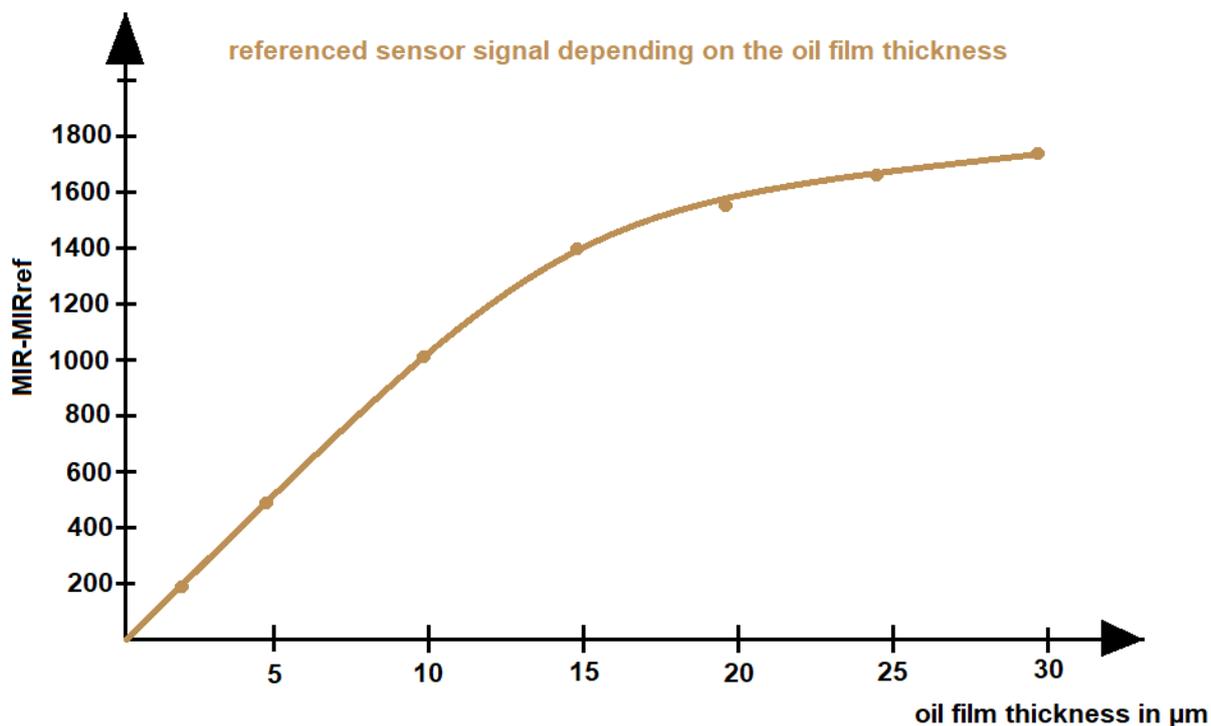


Диаграмма показывает, что разрешение при данном методе измерения составляет 10нм (5000нм/500 разрядов), а точность измерения находится в пределах 50нм. До определенной толщины пленки сигнал MIR изменяется почти линейно относительно толщины пленки. Верхний предел для измерения толщины пленки MIR при измеренном масле составляет прим. 15мкм.

Для встроенного измерения следует только удалить проставку и можно начинать! Наряду с цифровыми и аналоговыми выходами в будущем сенсорика опционально будет снабжена также полевой шиной. Параметризация и мониторинг системы могут удобно осуществляться с помощью Windows® ПО MIR

Scope V1.0. Расстояние от датчика до поверхности объекта составляет тип. 10мм, зона обнаружения составляет прим. 10мм в диаметре. Для небольших измеряемых объектов устанавливаются накладки, соответственно ограничивающие диапазон измерения. Так как измерительная система работает обычно в режиме DC, возможны измерительные циклы в 10 кГц.

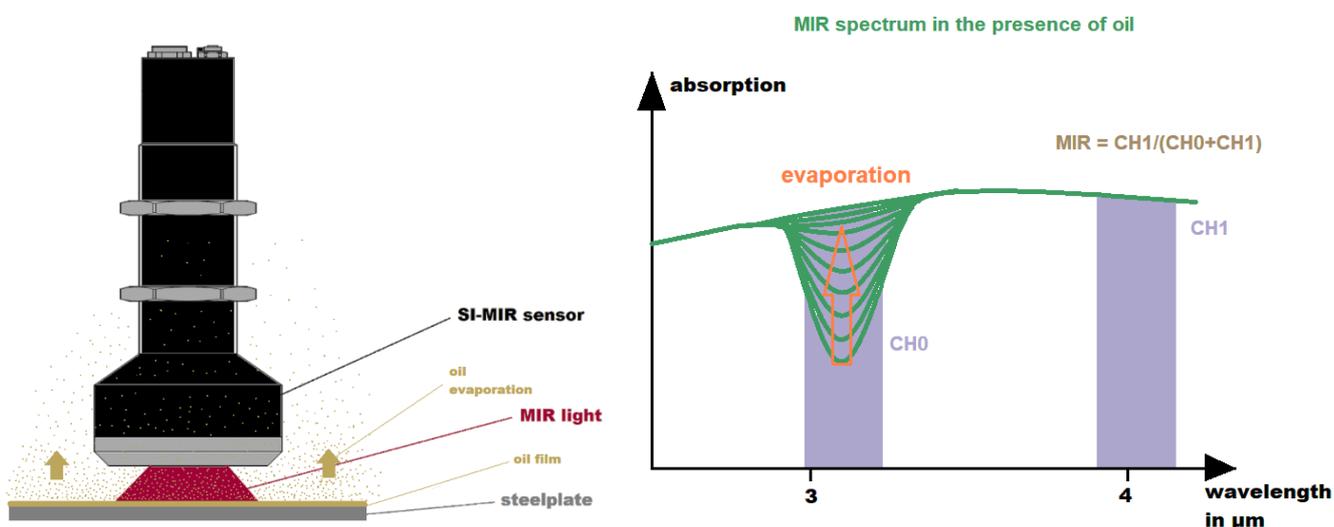
5.7 Измерение испарения нанесенного масла

При производстве штампованных и гнутых деталей все чаще используются испаряющиеся штамповочные масла и масла для волочения. Целью при этом является, оставить как можно меньше масла на штампованных и формованных металлических деталях, чтобы при дальнейшей обработке металлических деталей исключить процесс их очистки. Но сколько же нанесенного масла действительно остается на детали и как долго продолжается испарение масла?

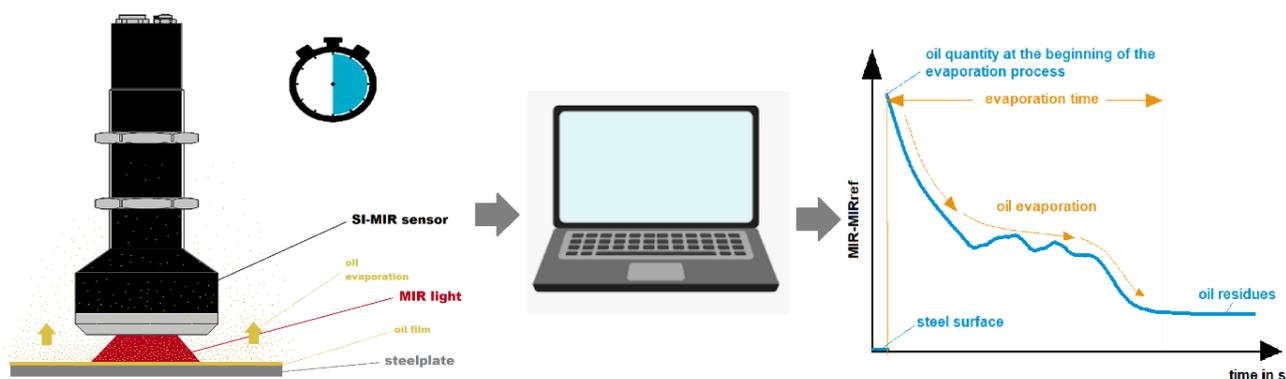
Для измерения испарения на обезжиренные стальные пластины было нанесено по 5 капель масла (5x20мкл) и распределено по поверхности диаметром в 70мм.

Толщина масляной пленки в начале измерения составляла прим. 25мкм. Затем датчик SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) устанавливался на середину масляного пятна и начиналось измерение.

MIR - спектр после нанесения пленки масла толщиной 25мкм. Диапазон длин волн CH0 реагирует на наличие масла, в диапазоне же CH1 уменьшения сигнала не наблюдается.

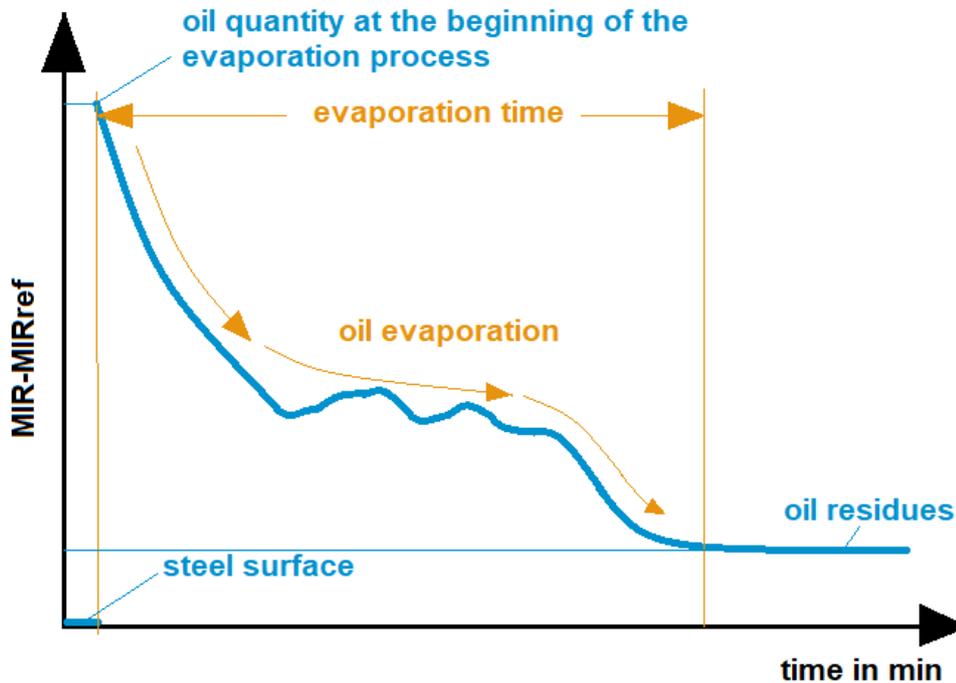


Изменение MIR-сигнала во времени: вызванное наличием масла уменьшение сигнала в CH0 снижается с увеличением испарения масла.



За промежуток времени продолжительностью в несколько часов с помощью ПО Windows® MIR Scope V1.0 был зарегистрирован нормированный сигнал MIR за вычетом нормированного референтного сигнала MIR_{реф}:

При этом для всех проверенных образцов масел был установлен одинаковый, представленный на диаграмме ниже процесс:



Продолжительность испарения составляла при этом от 60мин до 90мин. Остатки масла у образца с самым сильным испарением составляли тип. 1% начальной толщины пленки, а у образца с самым слабым испарением - 50% начальной толщины пленки.

Благодаря этому методу измерения можно быстро и просто контролировать продолжительность испарения масел исходя из установленной толщины пленки. Остаточный сигнал, который можно замерить, после того, как MIR-сигнал установился в стабильное состояние, указывает на органические остатки на поверхности, оставшиеся после испарения.

Записывающая функция ПО SPECTRO MIR Scope датчика SPECTRO-M обеспечивает непрерывную регистрацию и запись замеренных значений в виде ASCII-файла, который затем может экспортироваться в программу обработки электронных таблиц.

6 Тестовые измерения на серии CLF 11

В специальной серии испытаний были проверены штамповочные масла CLF 11 фирмы Raziol Zibulla & Sohn GmbH. Результаты этой серии испытаний приводятся на следующих страницах.

6.1 Методика испытаний и референтный метод

В качестве референтного был использован метод „красных чернил“ с тестовыми чернилами фирмы arcotest (www.arcotest.de).

Проверяемые масла были при этом нанесены на обезжиренный лист металла (напр. GARDOBOND фирмы Chemetall), а затем кисточкой, прилагаемой к бутылочке чернил, наносятся тестовые чернила определенного поверхностного натяжения (указания на бутылочке, напр. 38мН/м).

Если чернила собираются в каплю, то измерение продолжается со следующим, более низким, значением поверхностного натяжения, пока нанесенные чернила не будут смачивать поверхность. Указанное на бутылочке с чернилами поверхностное натяжение отвечает приблизительно поверхностному натяжению металлической поверхности вкл. пленку масла.

Чем тоньше пленка масла, тем выше поверхностное натяжение у соответственно использованного сорта масла.

Для серии испытаний требовалось, чтобы соответствующее масло было нанесено на обезжиренную металлическую поверхность тонким слоем и затем хорошо растерто по этой поверхности с помощью безворсовой салфетки. Масло при этом равномерно распределялось по диаметру в прим. 70мм.

Обычно таким образом достигается толщина пленки масла в 0,1мкм – 3мкм, в зависимости от распределения: 1х растирание, 2х растирания, 3х растирания при объеме масла в 20мкл (1 капля), 40мкл (2 капли), 60мкл 3 капли. Нанесение масла осуществляется с помощью пипетки, в заключение масло распределяется в зависимости от требуемой толщины пленки (для толщины покрытия 0,1мкм – 3мкм) как описано выше, размазывается (для покрытий 1мкм – 10мкм) или растекается (для пленки 5мкм – 50мкм). При двух последних методах масло распределяется по диаметру в прим. 70мм. Для каждого измерения использовался один обезжиренный стальной лист и, в зависимости от метода, новая безворсовая салфетка, а также не использованный до сих пор пластиковый шпатель. Также для каждой пробы



использовался один обезжиренный контрольный лист фирмы Chemetall Тип GARDOBOND. Определение толщины пленки осуществлялось при этом с использованием диаметра и объема масла (прим. 20мкл в капле). При расчете речь идет о приблизительной оценке, так как ни диаметр, ни количество масла не могут определяться точно. Также анализируемые пробы являлись испаряемыми штамповочными маслами и маслами для волочения, т.е. с самого начала нанесения масла наблюдалось уже определенное уменьшение количества масла! При размазывании, несмотря на использование пластикового штапеля, нельзя полностью предотвратить налипания остатков масла не на стальную поверхность, а на пластиковый штапель. При растекании масла следует принимать в расчет большее количество испарившегося масла, так как процесс растекания занимает больше времени, чем процесс размазывания. При растирании масла с помощью безворсовой салфетки большая часть масла осталась на салфетке. Расчет толщины пленки масла при этом не возможен.

Для наших испытаний использовались соответственные стальные листы, а также алюминиевые листы с **обезжиренной** поверхностью.

Поверхностное натяжение, определенное с помощью метода тестовых чернил, на неиспользованной до сих пор поверхности контрольного листа GARDOBOND® должно составлять более 50мН/м, так как даже со следующими по значению чернилами (50мН/м) образования капель на стальной поверхности не наблюдалось.



6.2 Данные производителя для серии CLF 11

По данным фирмы Raziol Zibulla & Sohn GmbH серия CLF 11 относится к быстро испаряющимся штамповочным маслам и маслам для волочения:

„Все продукты Raziol CLF 11 ... W содержат присадку для временной защиты от коррозии при хранении в помещении. Указанные продукты испаряются, в зависимости от количества присадок, за относительно короткое время. Присадки остаются на поверхности детали.“



Фирма Raziol Zibulla & Sohn GmbH рекомендует использование серии CLF 11 в следующих применениях (выдержка из: 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

О поведении остатков прочтите следующее (www.raziol.com):

Rückstandsverhalten

gering < <

> > hoch



Были протестированы следующие масла:

- 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

Критерии проверок:

- Время испарения содержащихся в масле летучих компонентов
- Соотношение между толщиной пленки масла и измеренным нормированным сигналом
- Нормированный сигнал датчика в зависимости от поверхностного натяжения (референтная система)

6.3 Raziol CLF 11 L

6.3.1 Время испарения содержащихся в масле летучих компонентов

Для этого на обезжиренную стальную поверхность следует нанести 5 капель масла (прим. 100мкл) и дать маслу растечься по поверхности диаметром прим. 70мм. Этот процесс длится прим. 5 минут. Не принимая во внимание возможное отклонение от объема масла в 100мкл, отклонение от диаметра в 70мм и от количества масла, испарившегося во время нанесения в течение 5 минут, получаем толщину масляной пленки в прим. 25мкм. Определенное с помощью датчика время испарения T_v , т.е. время, за которое испаряются летучие компоненты масла, составило при этом 72 минуты. Остатки масла, т.е. количество масла, которое по истечении этого времени еще находилось на стальной поверхности, составляли 1% от нанесенного в начале масла:

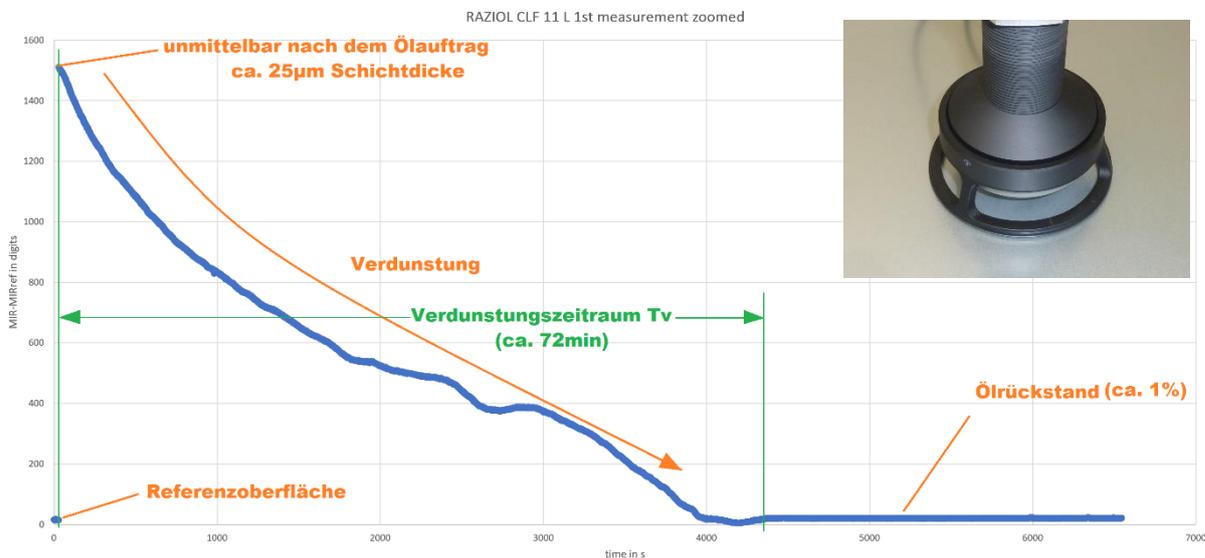
- Время испарения: 72 мин
- Остатки масла: 1%

CLF 11 L

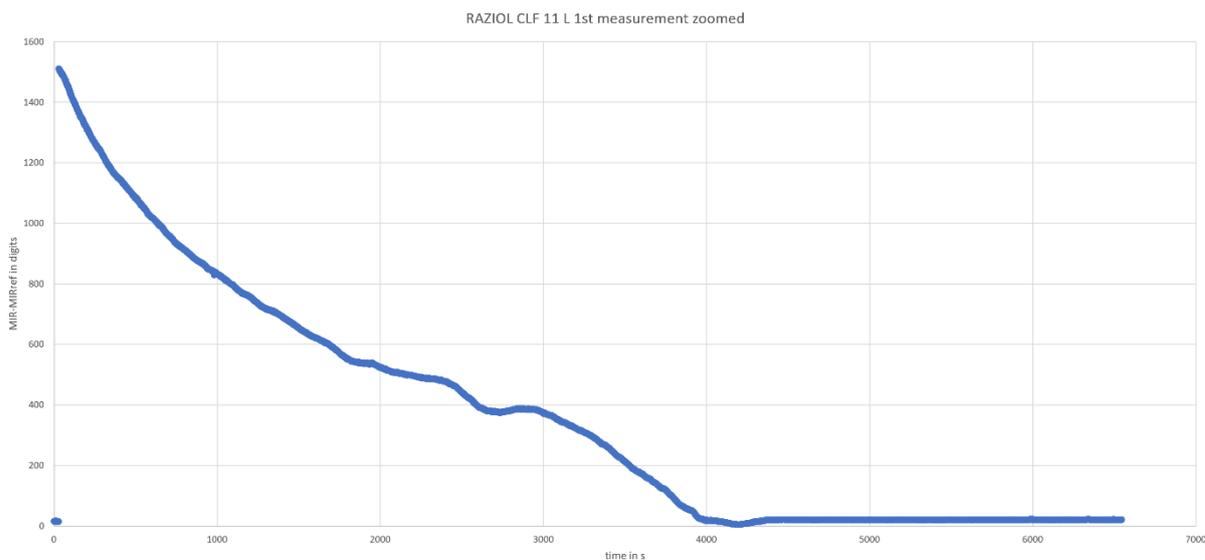
Rückstandsverhalten

gering < <

> > hoch

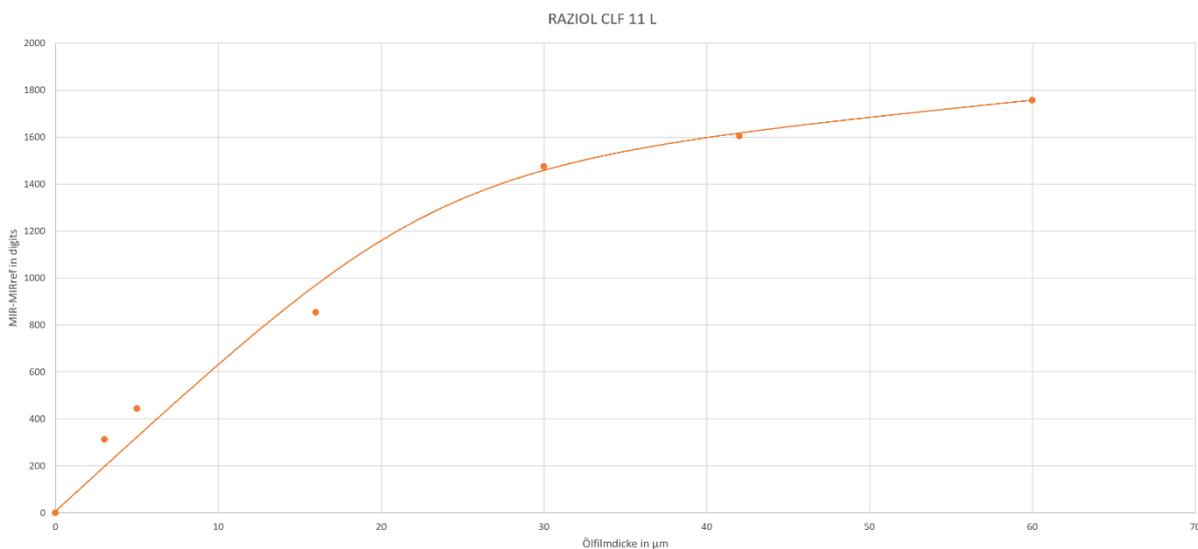


Schichtdicke	MIR	MIR-MIRref	ROTE TINTE	Anzahl	Ölfleck	Schichtdicke	Ölmenge
in μm	NORM	deltaNORM		Tropfen	Durchmesser	in μm	in μl
	in digits	in digits	in mN/m		in mm		
3	2518	312		0,5	70	3	10
5	2650	444		1	75	5	20
16	3060	854		3	70	16	60
30	3680	1474		5	65	30	100
42	3810	1604		7	65	42	140
60	3963	1757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



6.3.2 Соотношение между толщиной пленки масла и замеренным нормированным сигналом

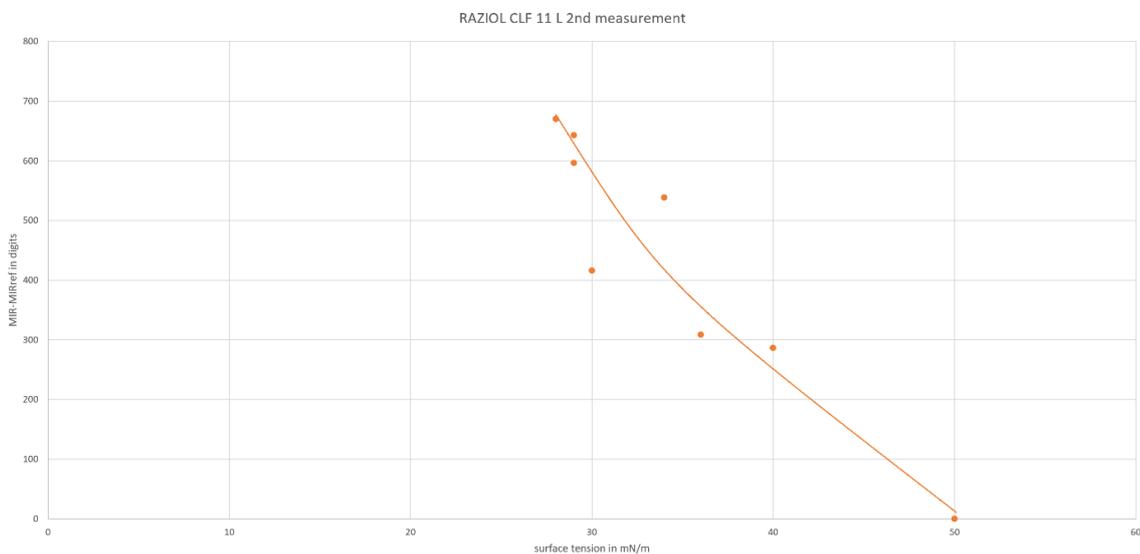
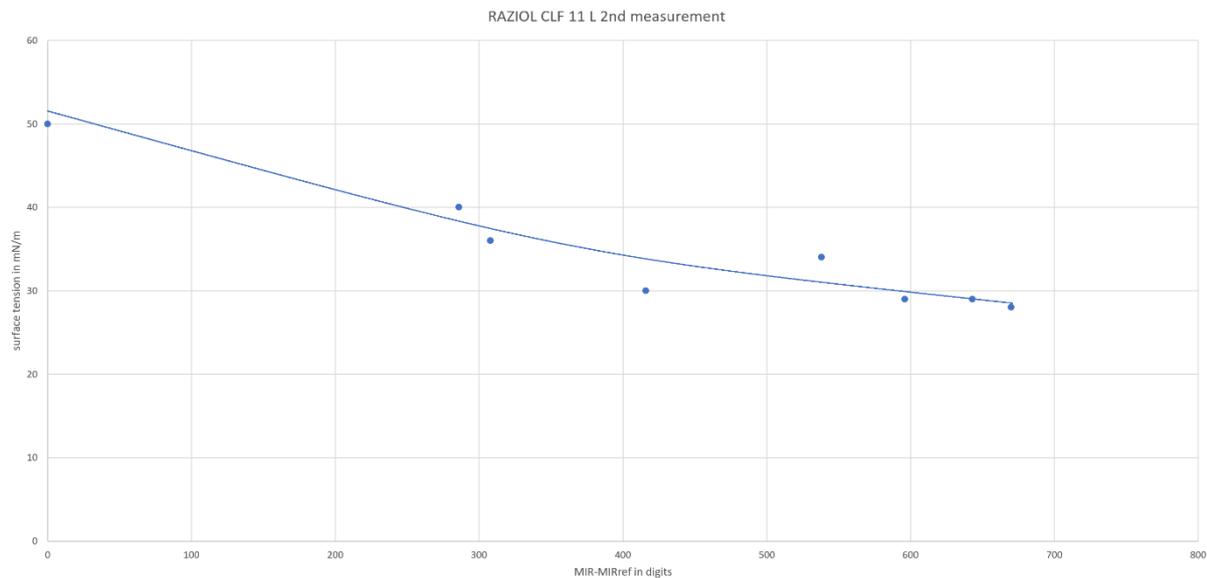
При этом на обезжиренные стальные поверхности наносятся капли масла, а затем им следует дать растечься или, при малом числе капель, распределить масло пластиковым шпателем по поверхности диаметром в 70мм.



6.3.3 Нормированный сигнал датчика в зависимости от поверхностного натяжения

Для этого на обезжиренные стальные поверхности было нанесено определенное число масляных капель и затем масло с помощью безворсовой ткани растиралось разное количество раз. После этого сначала проводилось определение измеряемых значений с помощью датчика SPECTRO-M, а затем определение поверхностного натяжения с помощью красных тестовых чернил.

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

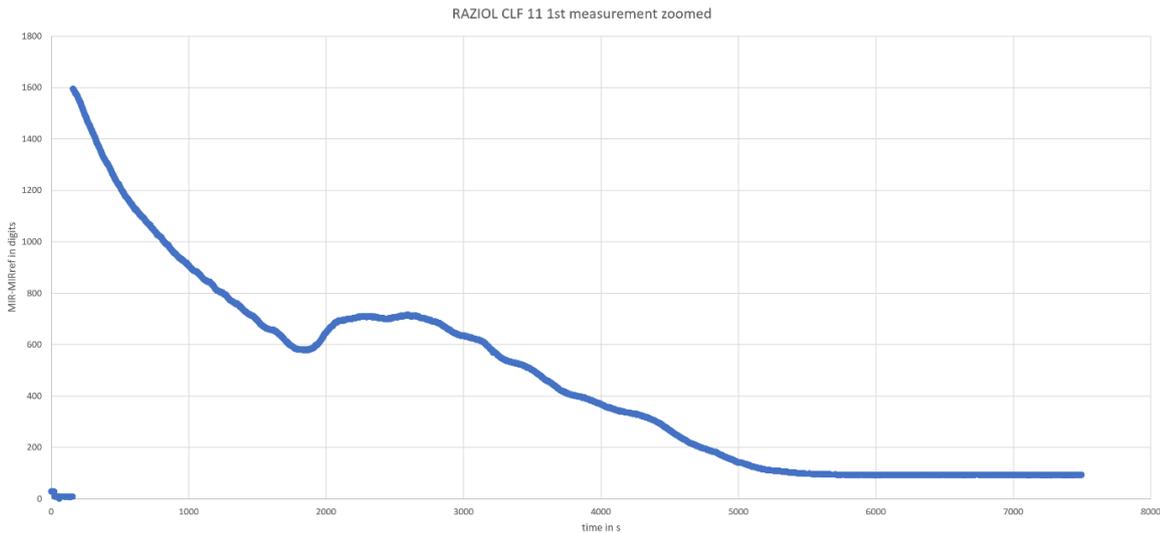
gering < <

> > hoch

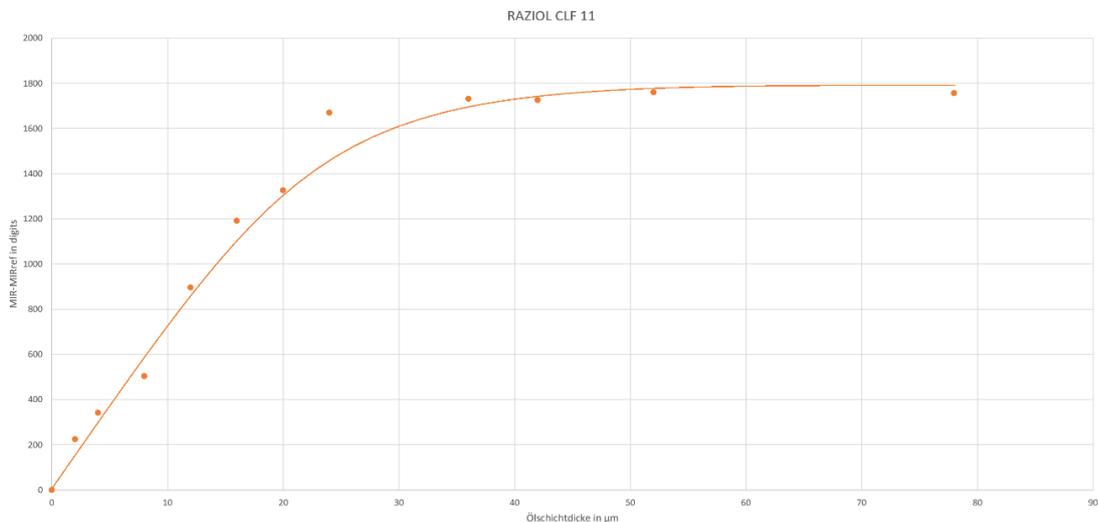


6.4.1 *Время испарения содержащихся в масле летучих компонентов*

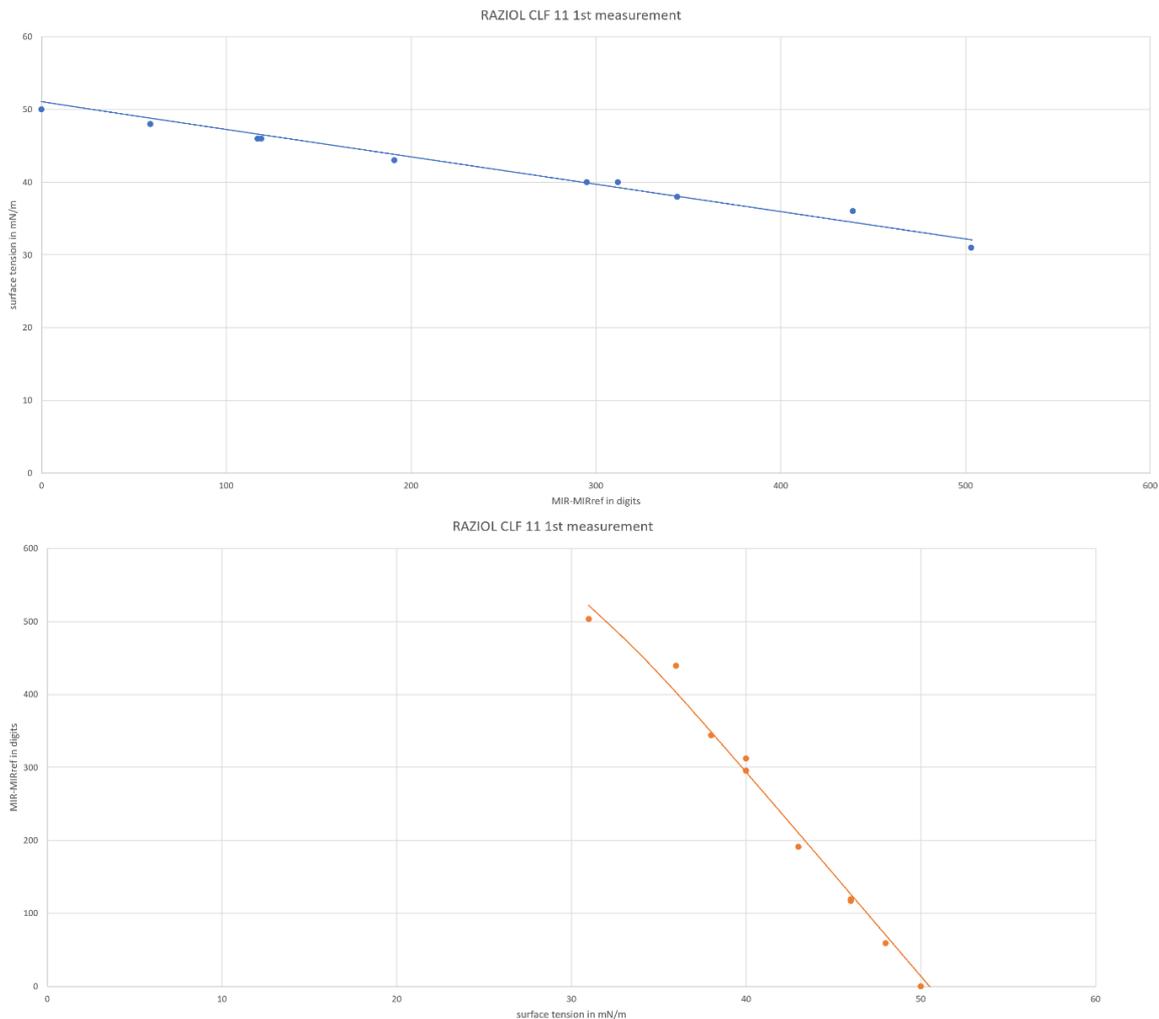
- Время испарения: прим. 90 мин
- Остатки масла: прим. 6%



6.4.2 *Соотношение между толщиной пленки масла и замеренным нормированным сигналом*



6.4.3 Нормированный сигнал датчика в зависимости от поверхностного натяжения



6.5 Raziol CLF 11 W 10

6.5.1 Время испарения содержащихся в масле летучих компонентов

CLF 11 W 10

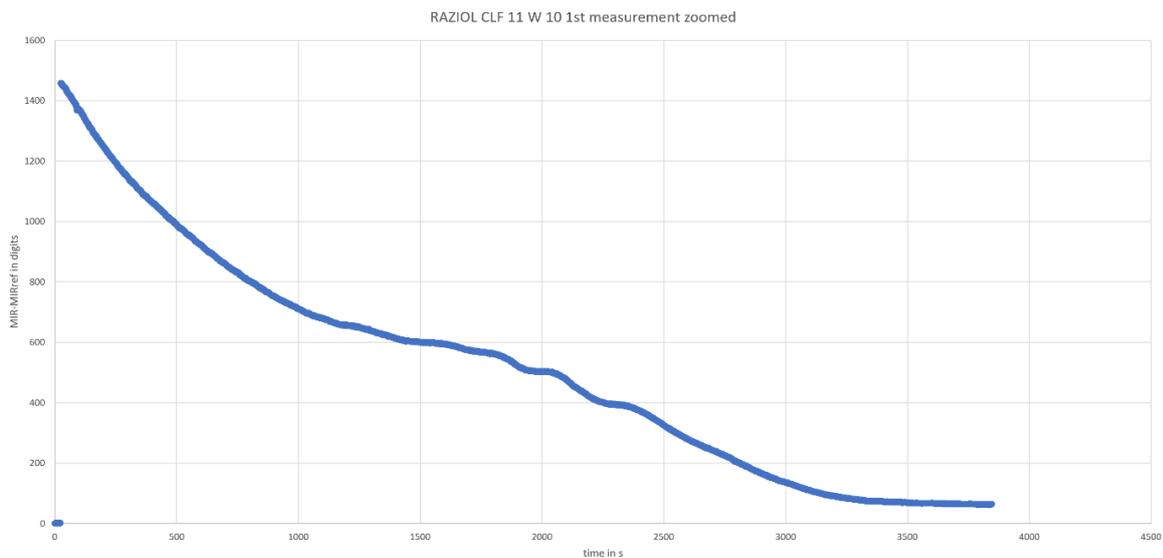
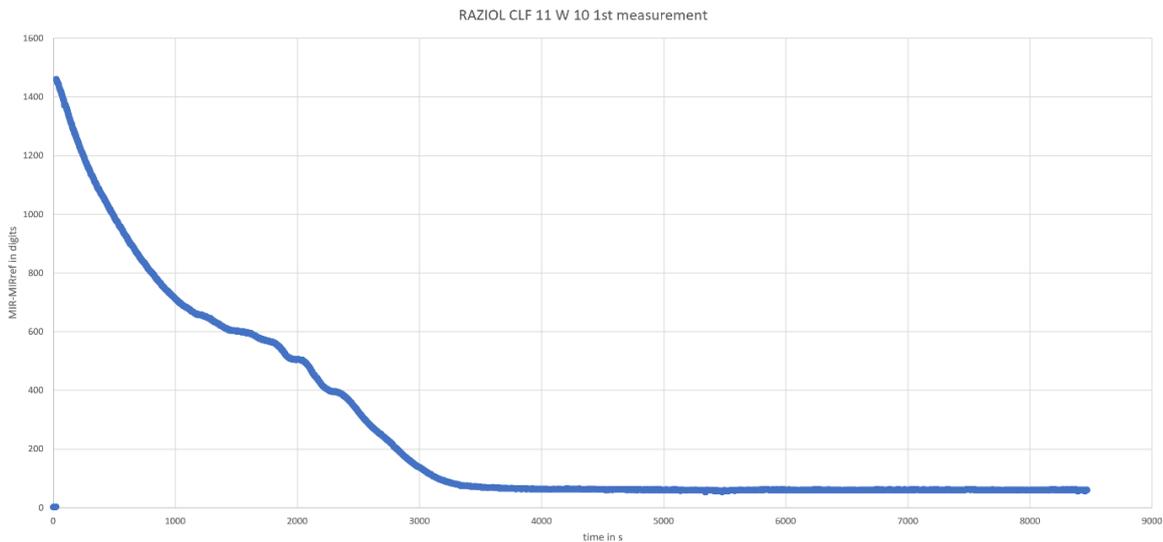
Rückstandsverhalten

gering < <

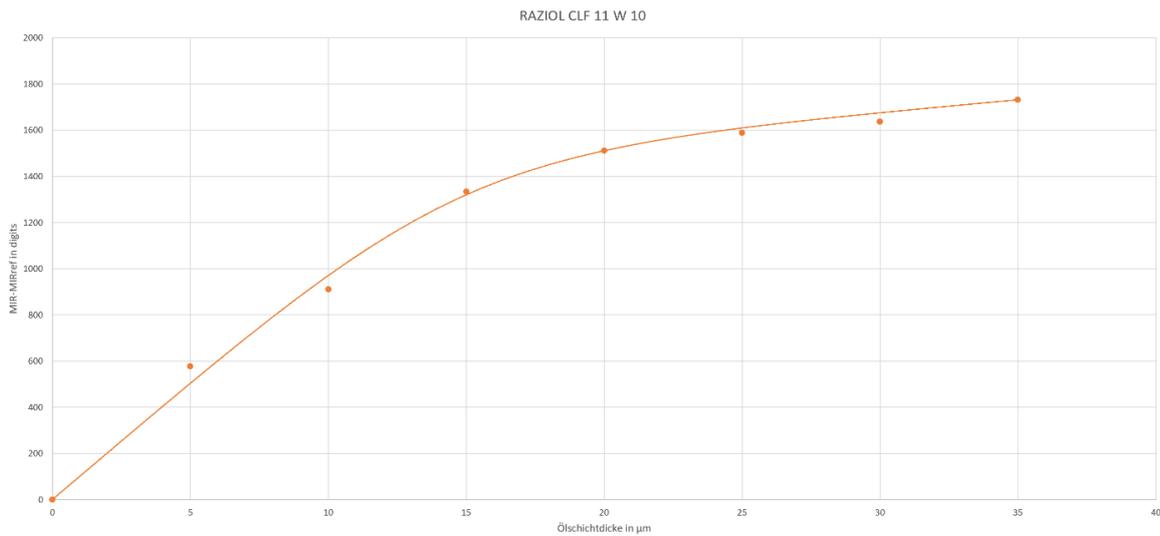
> > hoch



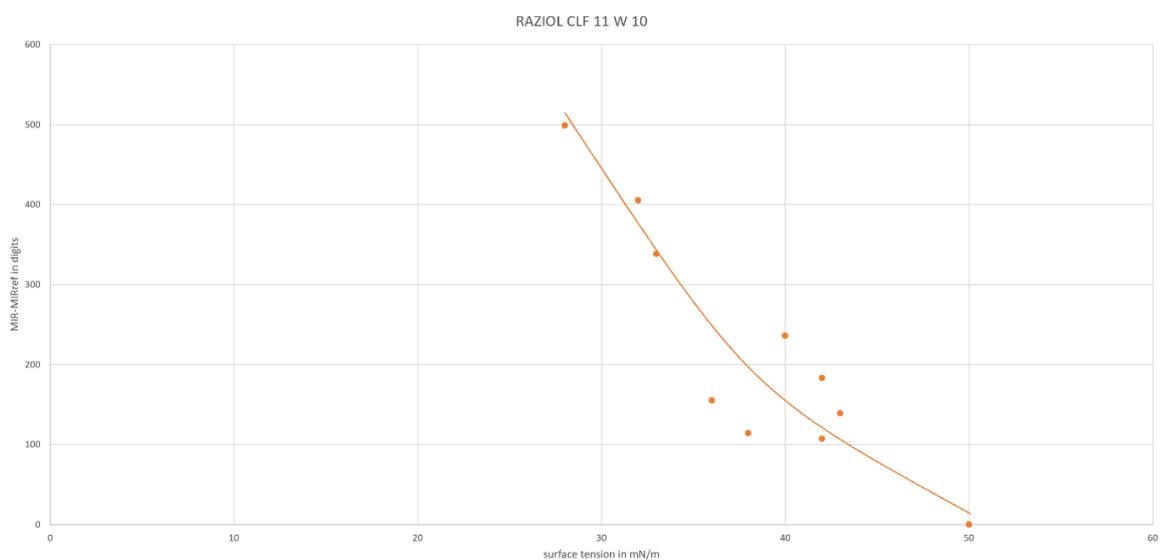
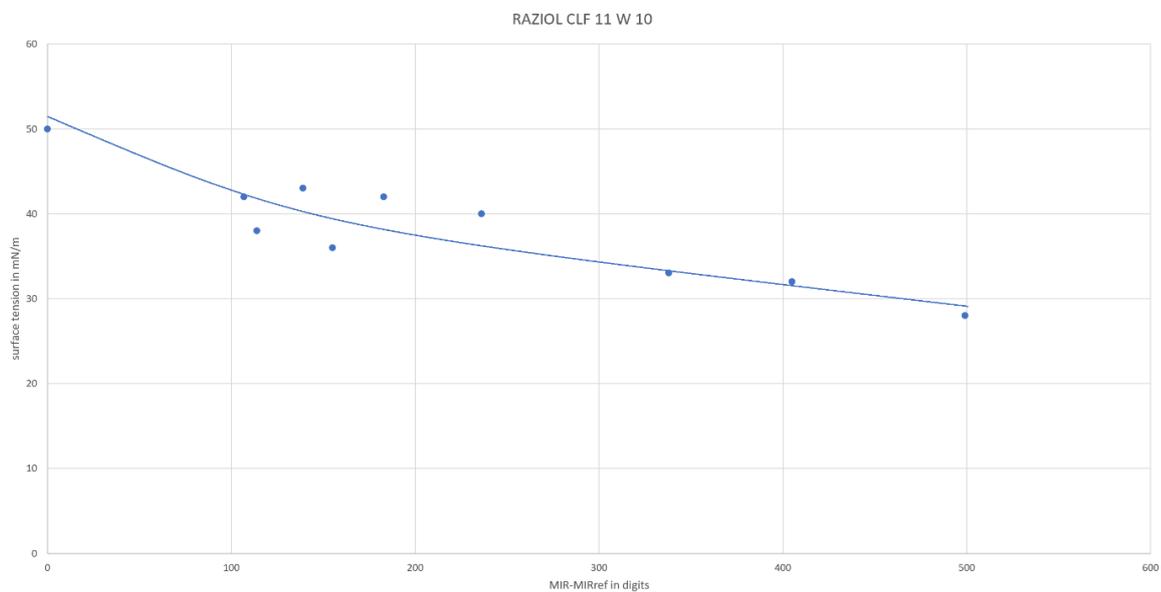
- Время испарения: прим. 62 мин
- Остатки масла: прим. 5%



6.5.2 Соотношение между толщиной пленки масла и замеренным нормированным сигналом



6.5.3 Нормированный сигнал датчика в зависимости от поверхностного натяжения



6.6 Raziol CLF 11 W 25

6.6.1 *Время испарения содержащихся в масле летучих компонентов*

CLF 11 W 25

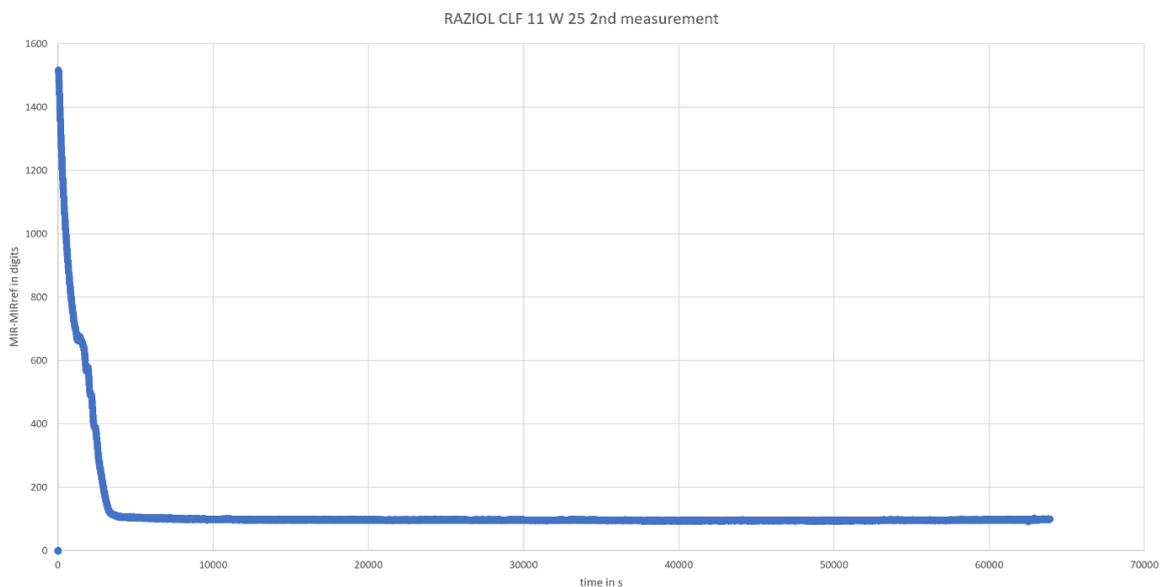
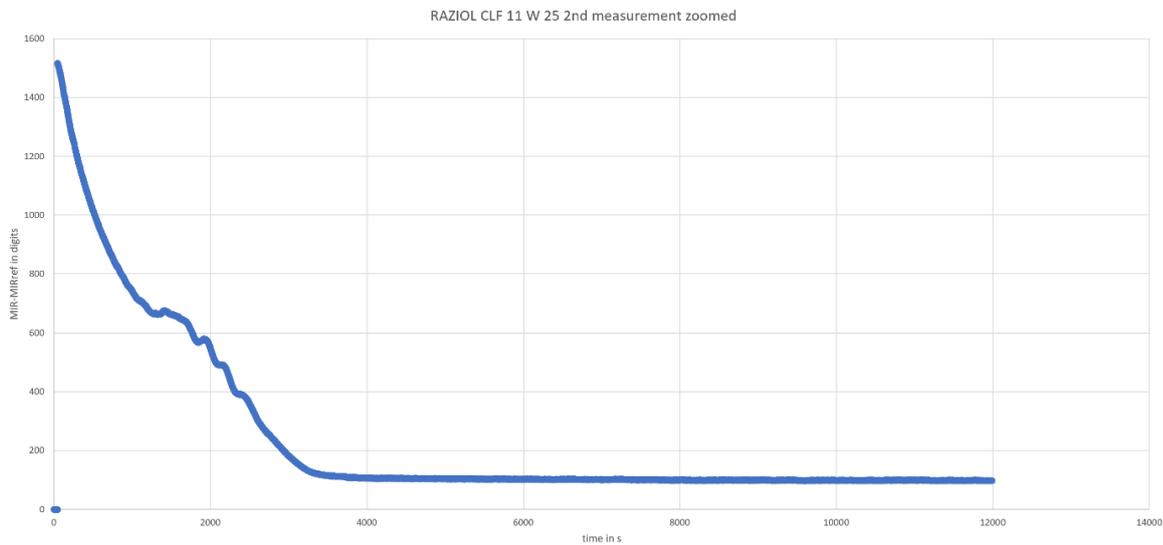
Rückstandsverhalten

gering < <

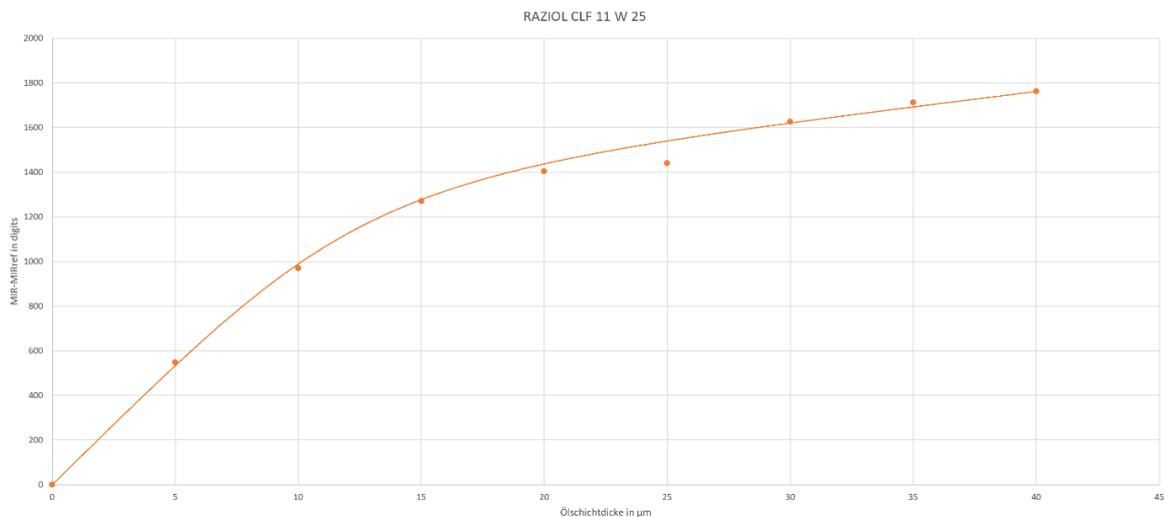
> > hoch



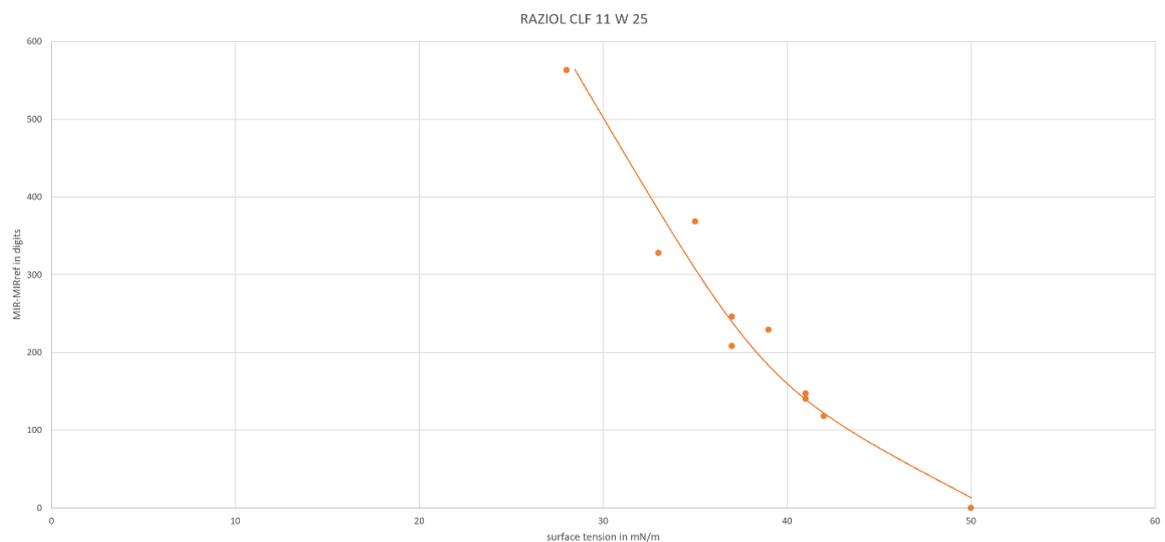
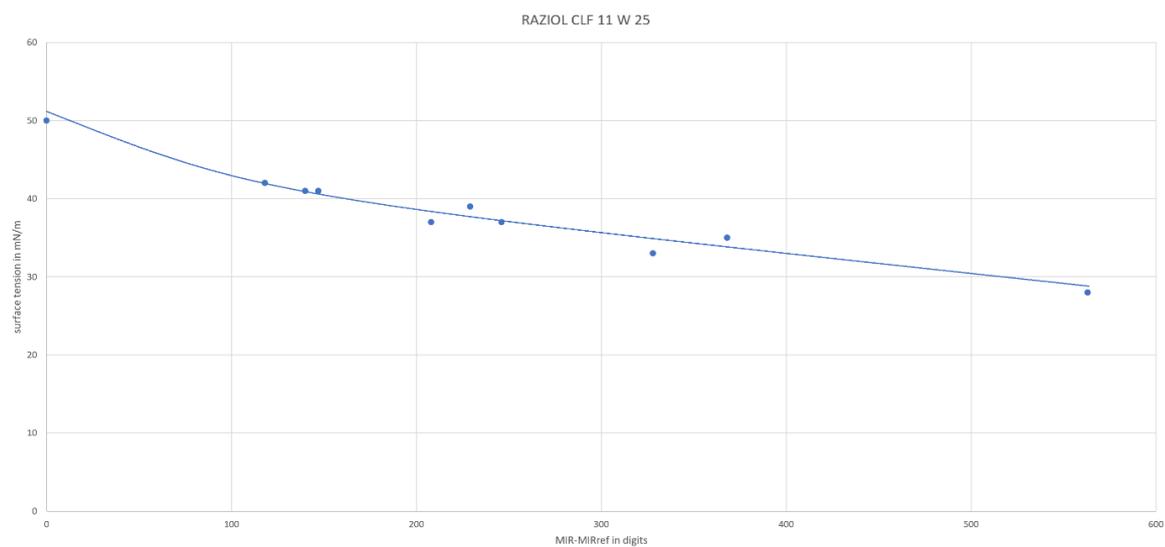
- Время испарения: прим. 58 мин
- Остатки масла: прим. 7%



6.6.2 Соотношение между толщиной пленки масла и замеренным нормированным сигналом



6.6.3 Нормированный сигнал датчика в зависимости от поверхностного натяжения



6.7 Raziol CLF 11 SE

6.7.1 Время испарения содержащихся в масле летучих компонентов

CLF 11 SE

Rückstandsverhalten

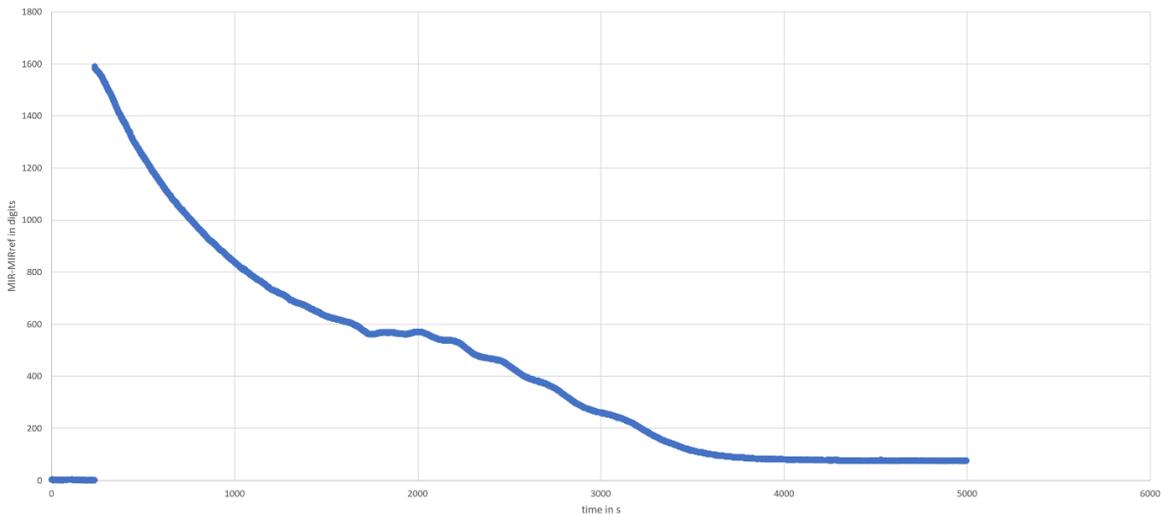
gering < <

> > hoch

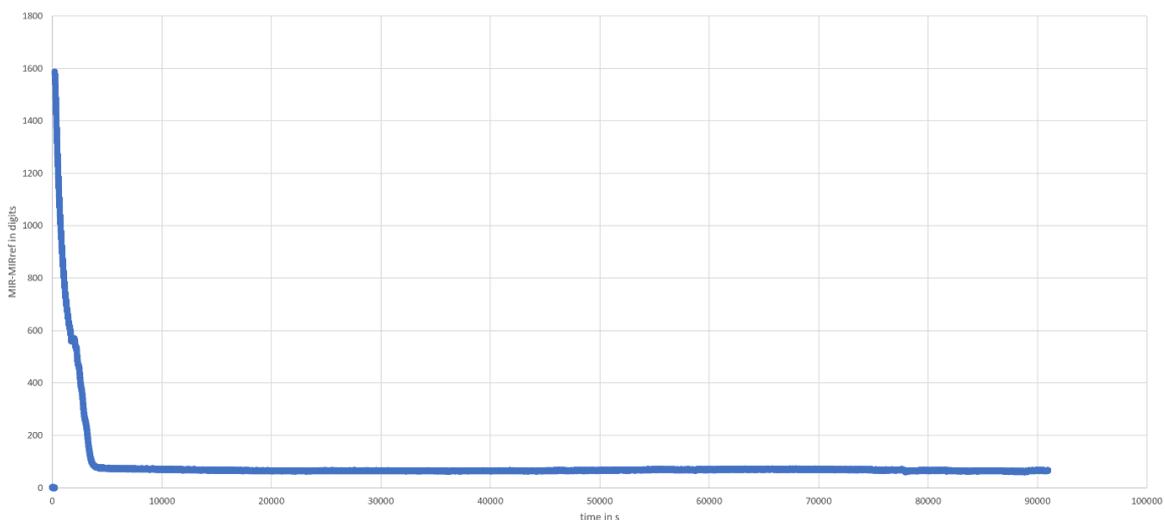


- Время испарения: прим. 60 мин
- Остатки масла: прим. 5%

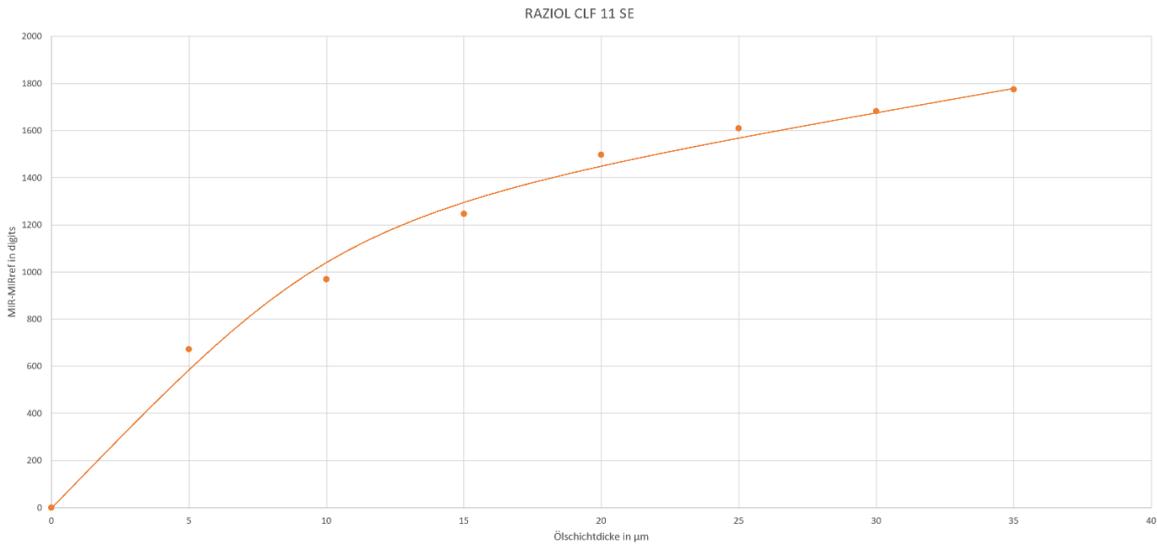
RAZIOL CLF 11 SE 1st measurement zoomed



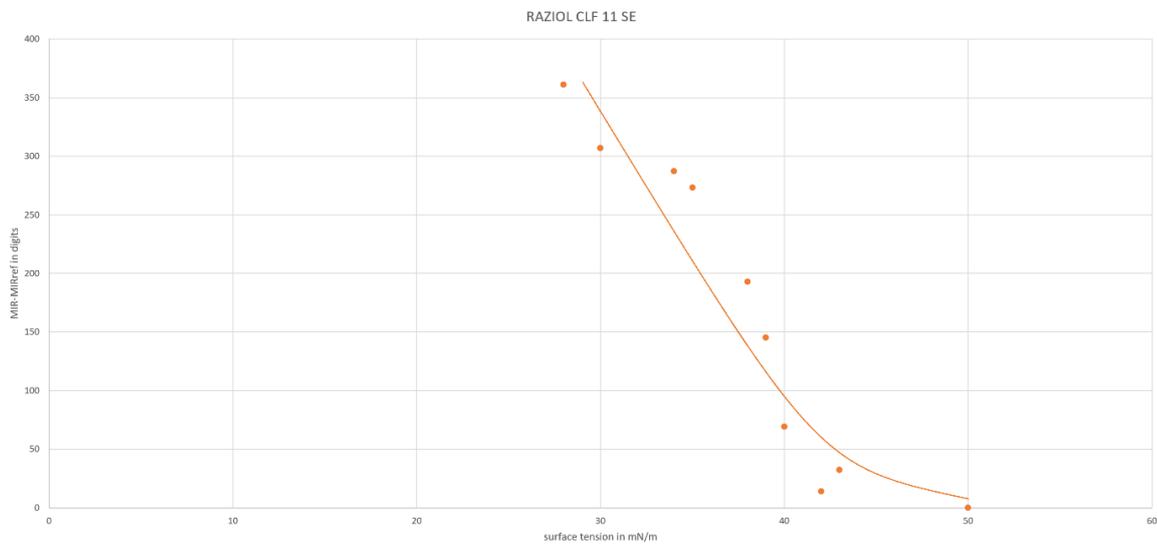
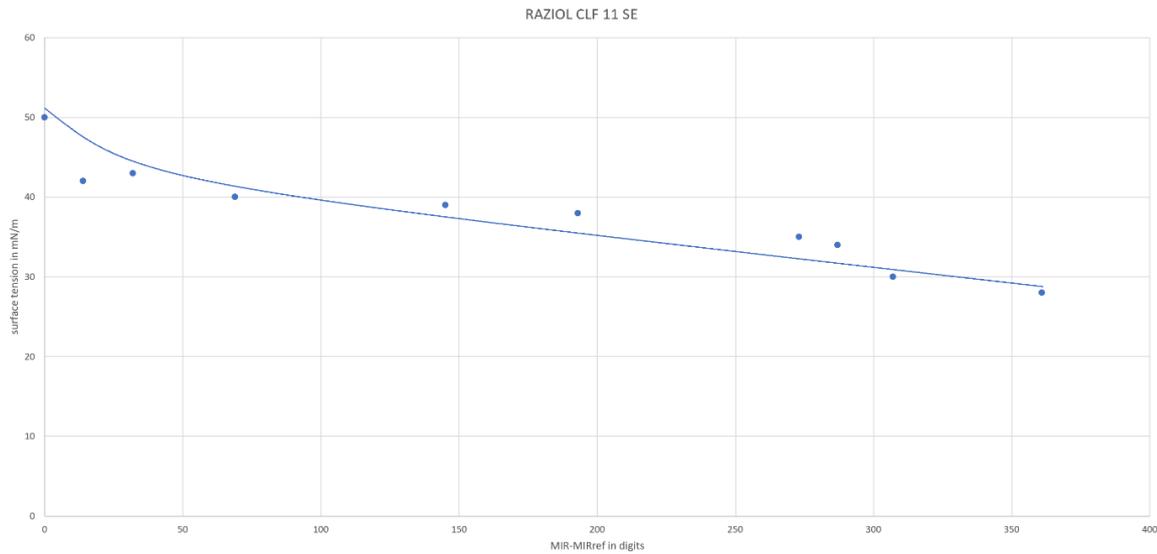
RAZIOL CLF 11 SE 1st measurement



6.7.2 Соотношение между толщиной пленки масла и замеренным нормированным сигналом



6.7.3 Нормированный сигнал датчика в зависимости от поверхностного натяжения



6.8 Raziol CLF 11 S

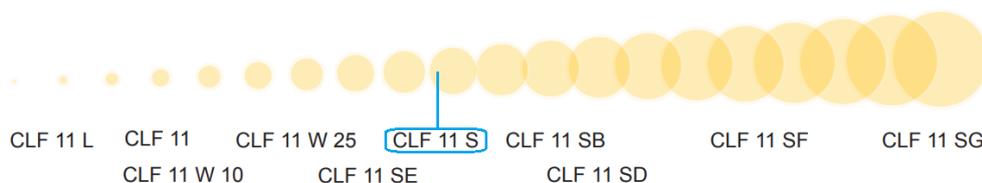
6.8.1 Время испарения содержащихся в масле летучих компонентов

CLF 11 S

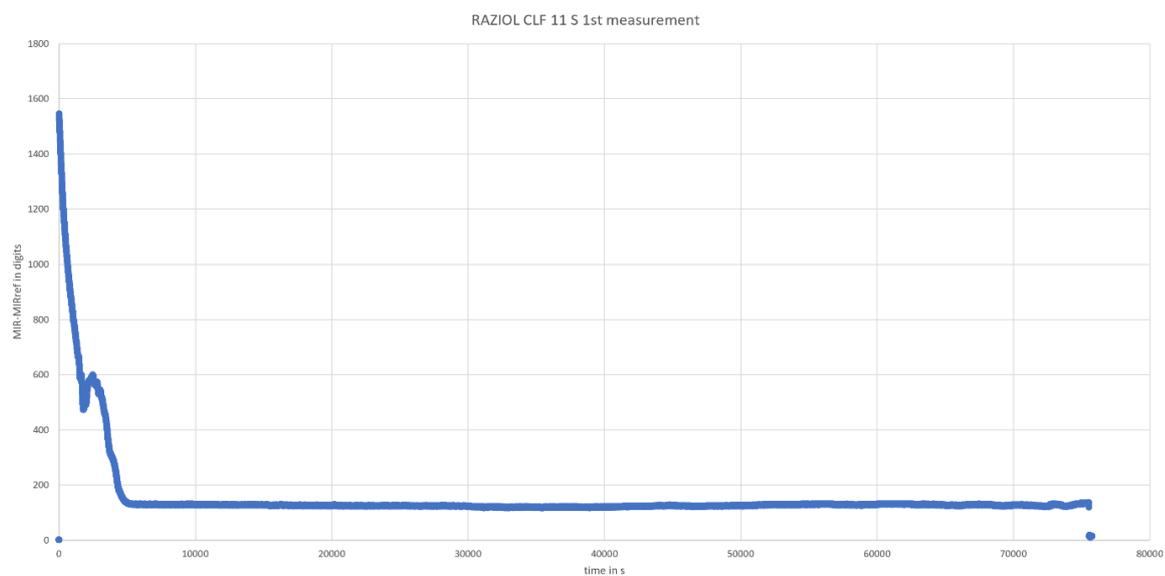
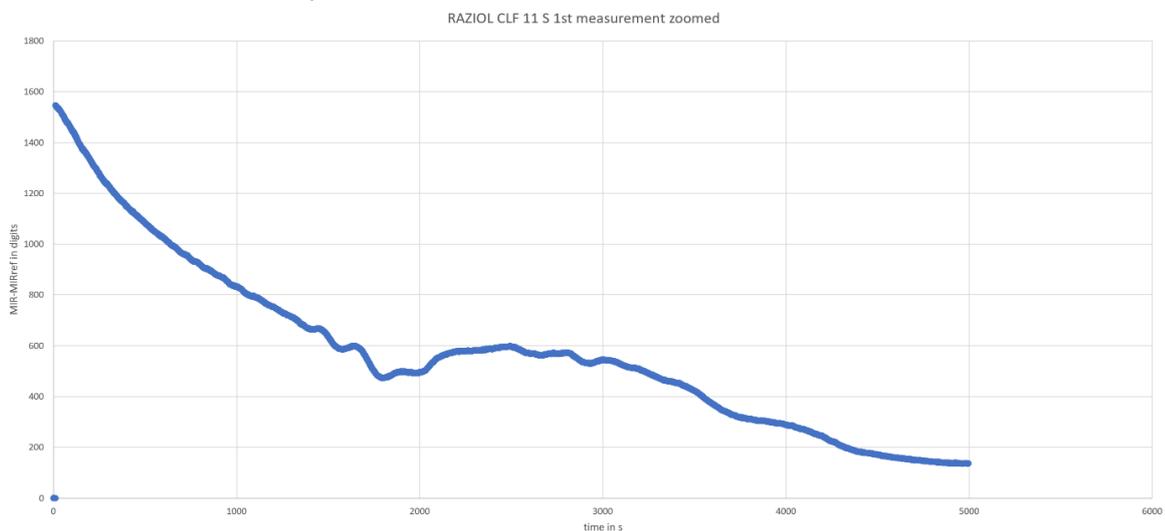
Rückstandsverhalten

gering < <

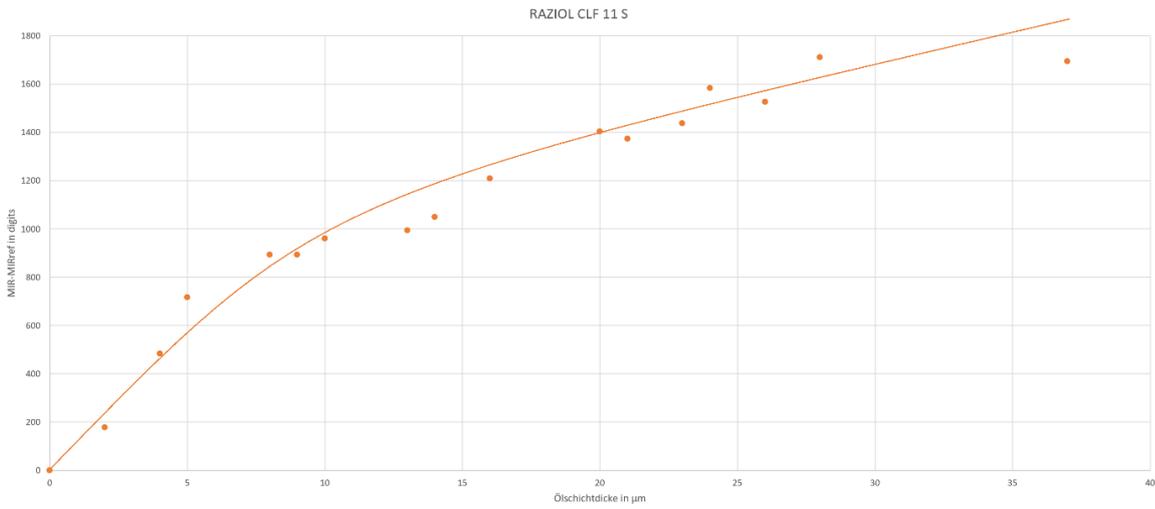
> > hoch



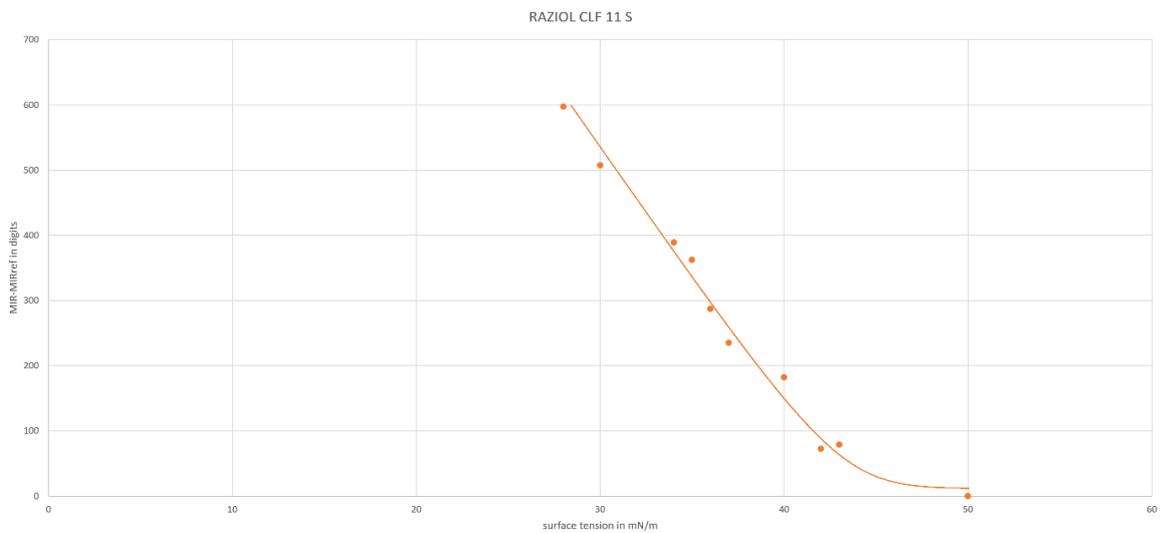
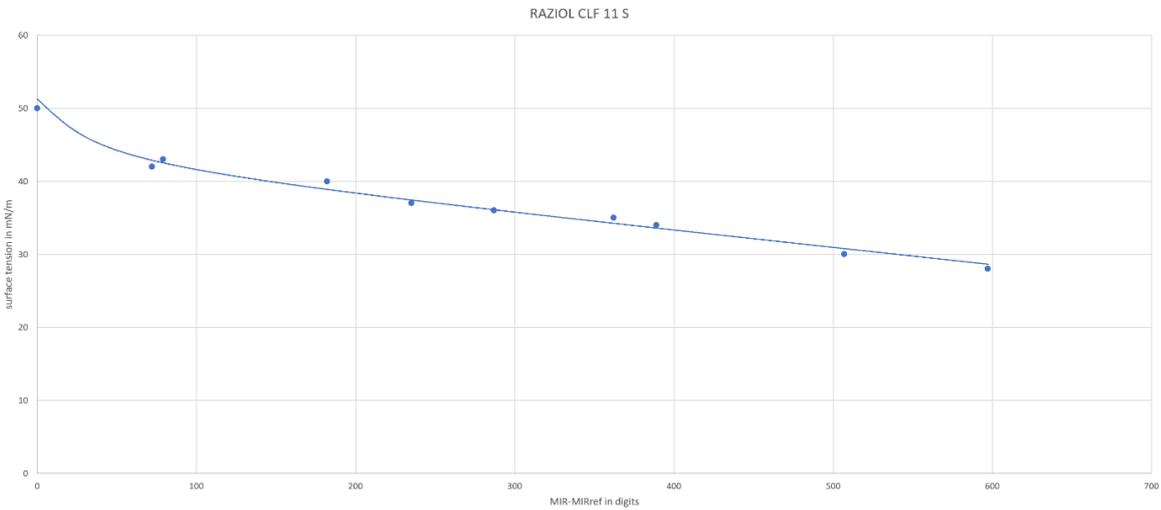
- Время испарения: прим. 83 мин
- Остатки масла: прим. 10%



6.8.2 Соотношение между толщиной пленки масла и замеренным нормированным сигналом



6.8.3 Нормированный сигнал датчика в зависимости от поверхностного натяжения



6.9 Raziol CLF 11 SB

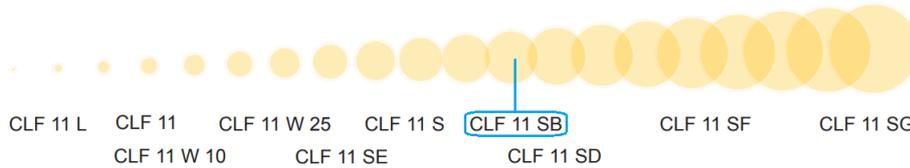
6.9.1 Время испарения содержащихся в масле летучих компонентов

CLF 11 SB

Rückstandsverhalten

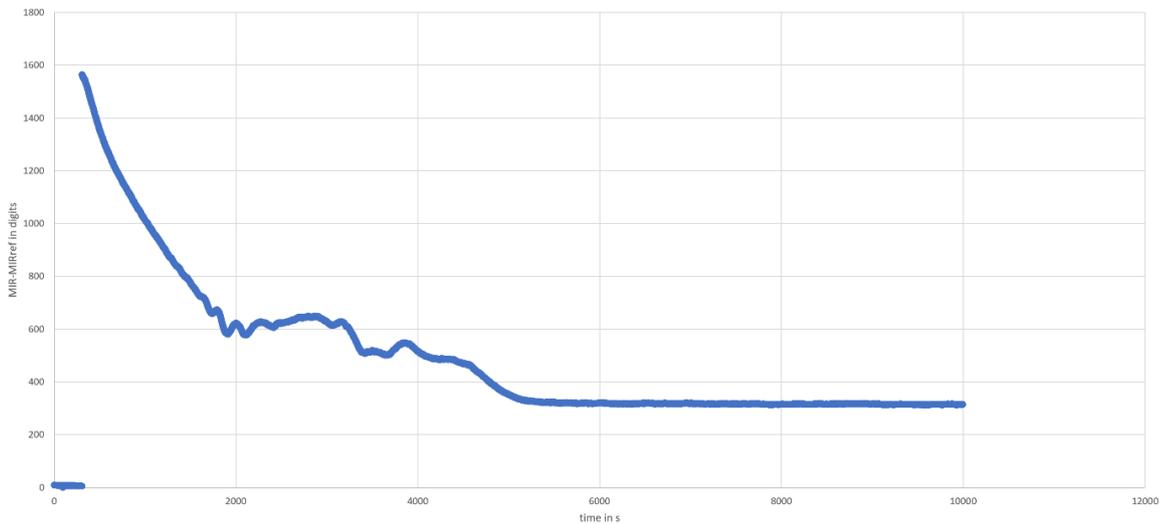
gering < <

> > hoch

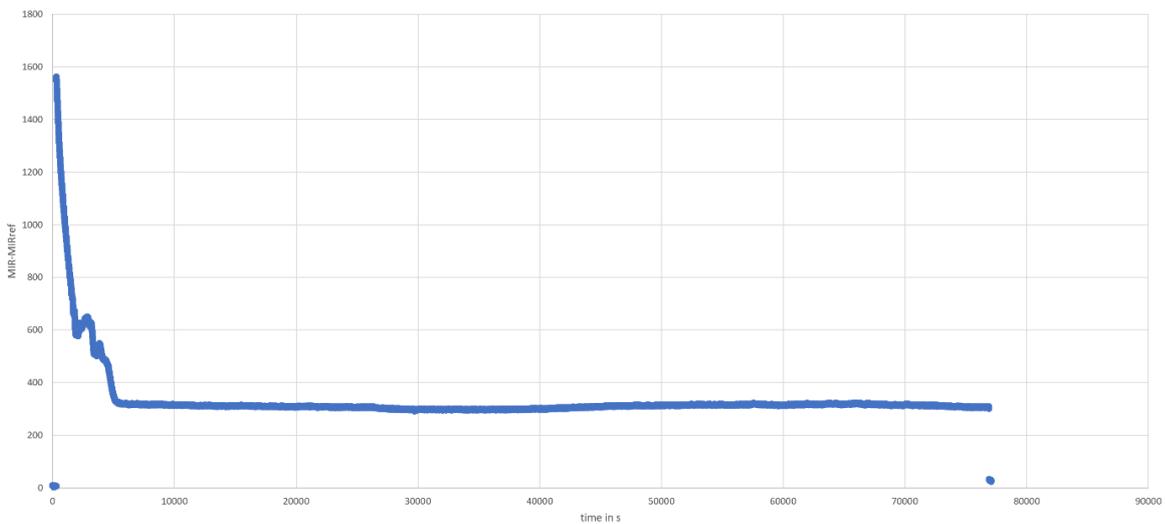


- Время испарения: прим. 72 мин
- Остатки масла: прим. 21%

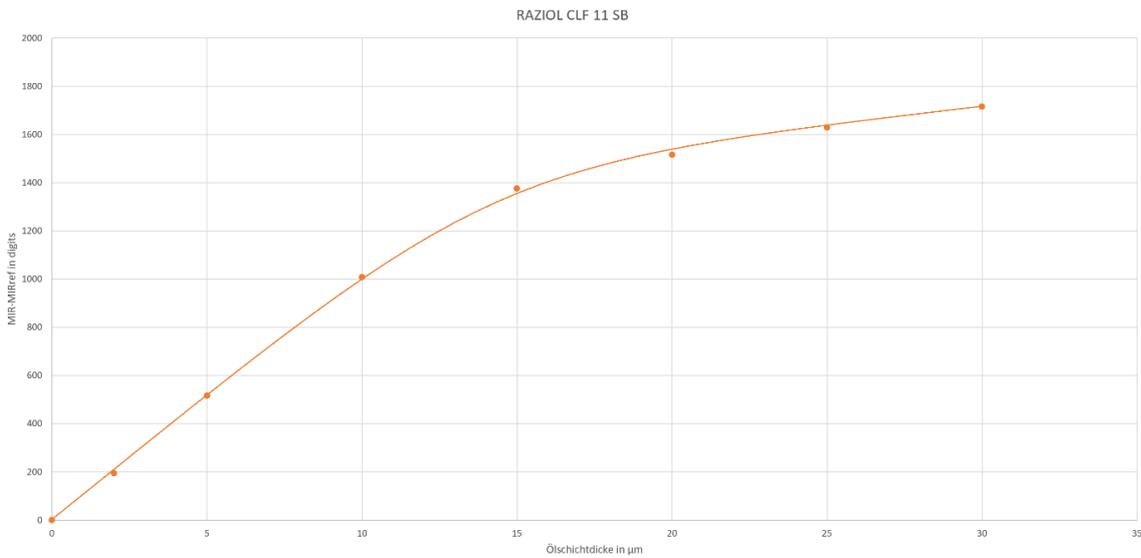
RAZIOL CLF 11 SB 1st measurement zoomed



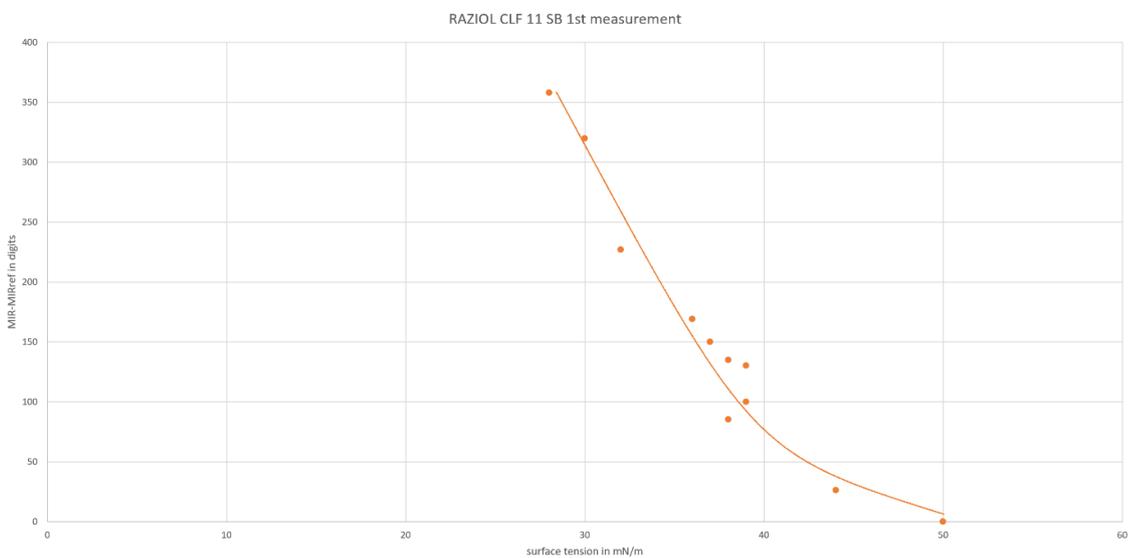
RAZIOL CLF 11 SB 1st measurement



6.9.2 Соотношение между толщиной пленки масла и замеренным нормированным сигналом



6.9.3 Нормированный сигнал датчика в зависимости от поверхностного натяжения



6.10 Raziol CLF 11 SD

6.10.1 Время испарения содержащихся в масле летучих компонентов

CLF 11 SD

Rückstandsverhalten

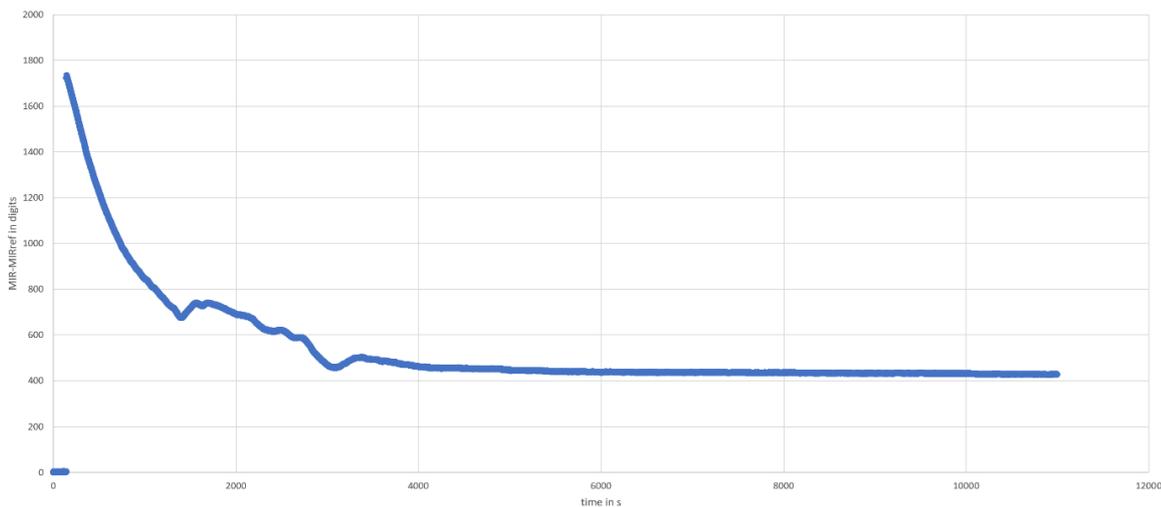
gering < <

> > hoch

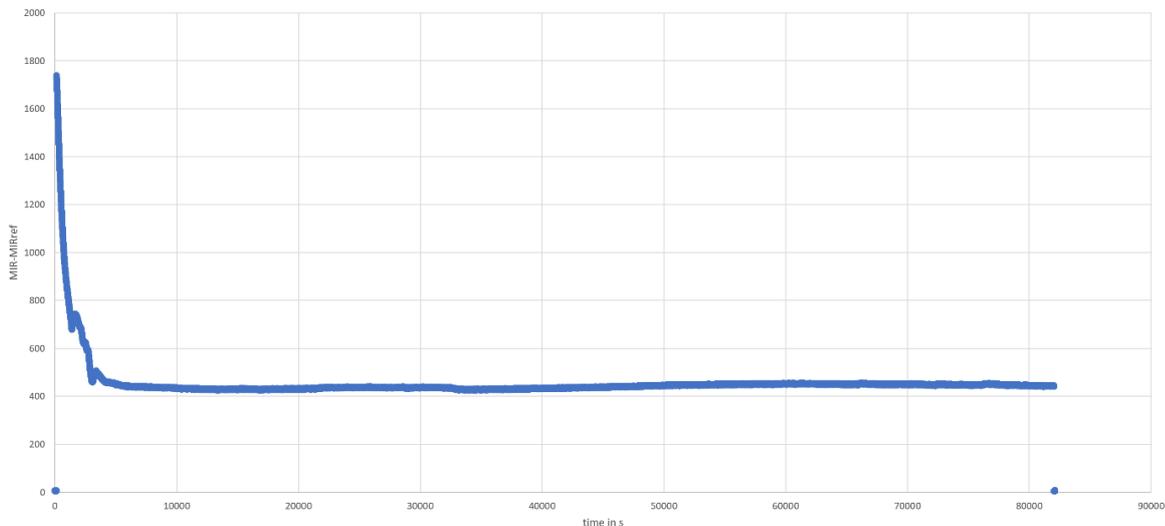


- Время испарения: прим. 76 мин
- Остатки масла: прим. 24%

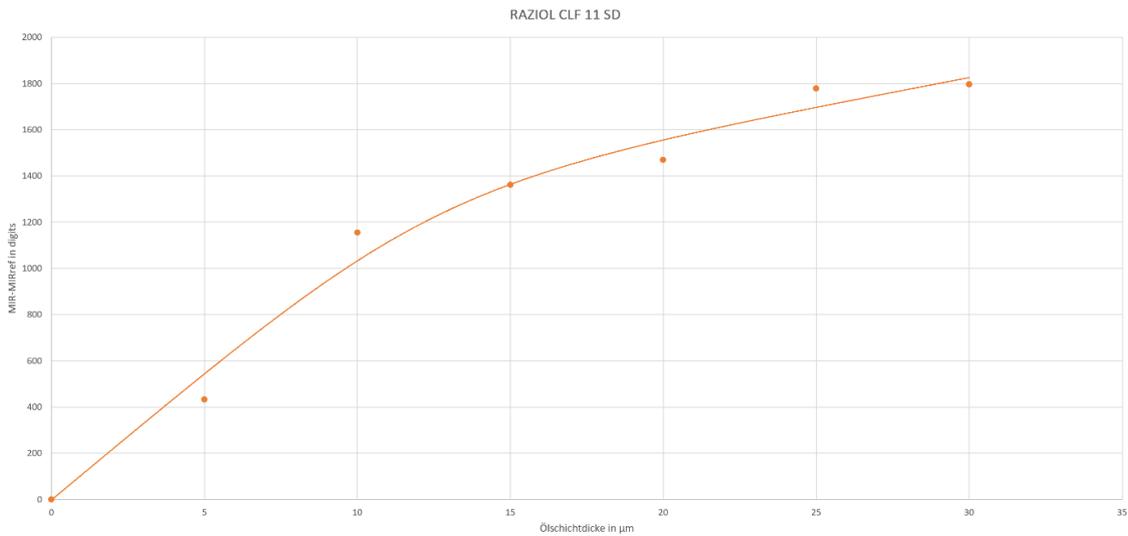
RAZIOL CLF 11 SD 1st measurement zoomed



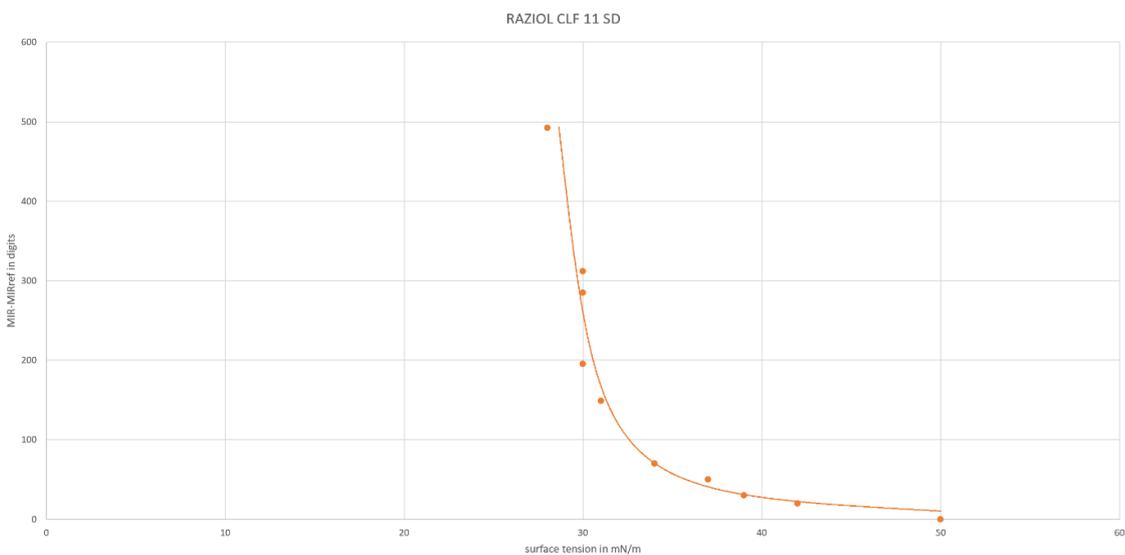
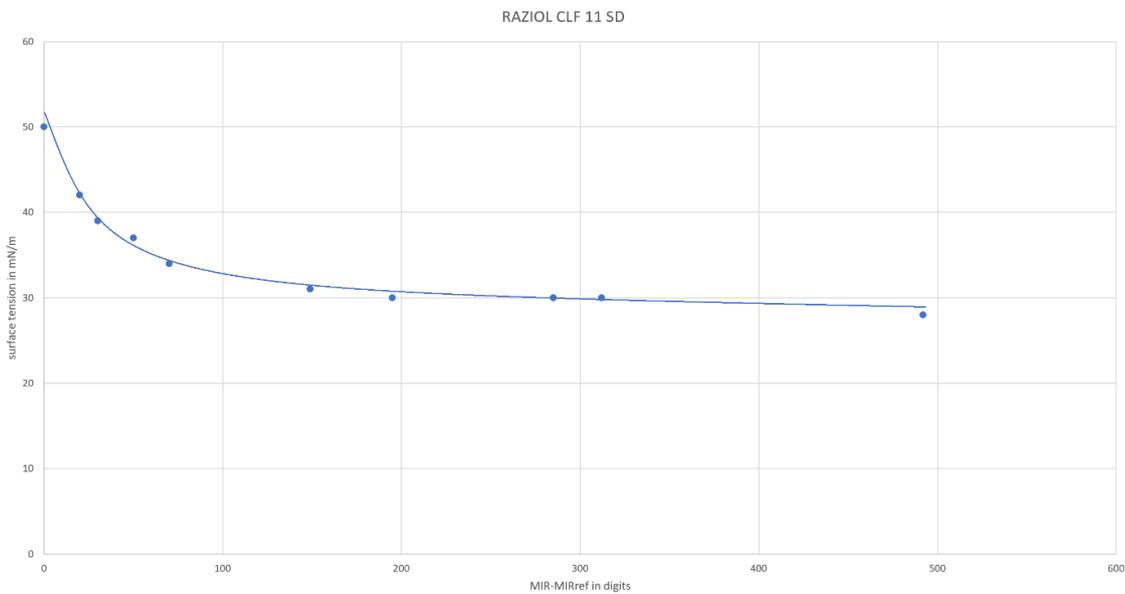
RAZIOL CLF 11 SD 1st measurement



6.10.2 Соотношение между толщиной пленки масла и замеренным нормированным сигналом



6.10.3 Нормированный сигнал датчика в зависимости от поверхностного натяжения



6.11 Raziol CLF 11 SF

6.11.1 Время испарения содержащихся в масле летучих компонентов

CLF 11 SF

Rückstandsverhalten

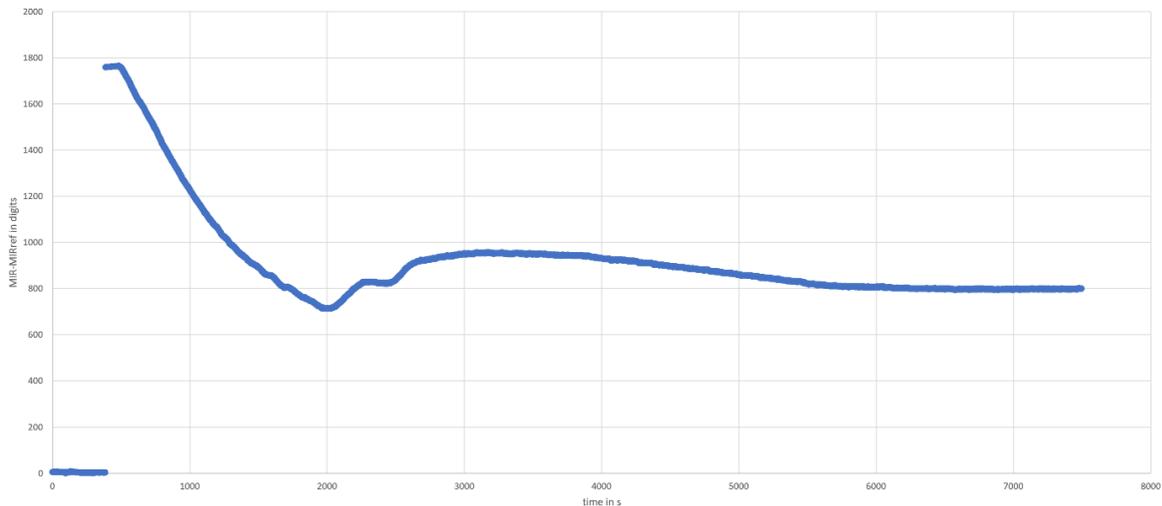
gering < <

> > hoch

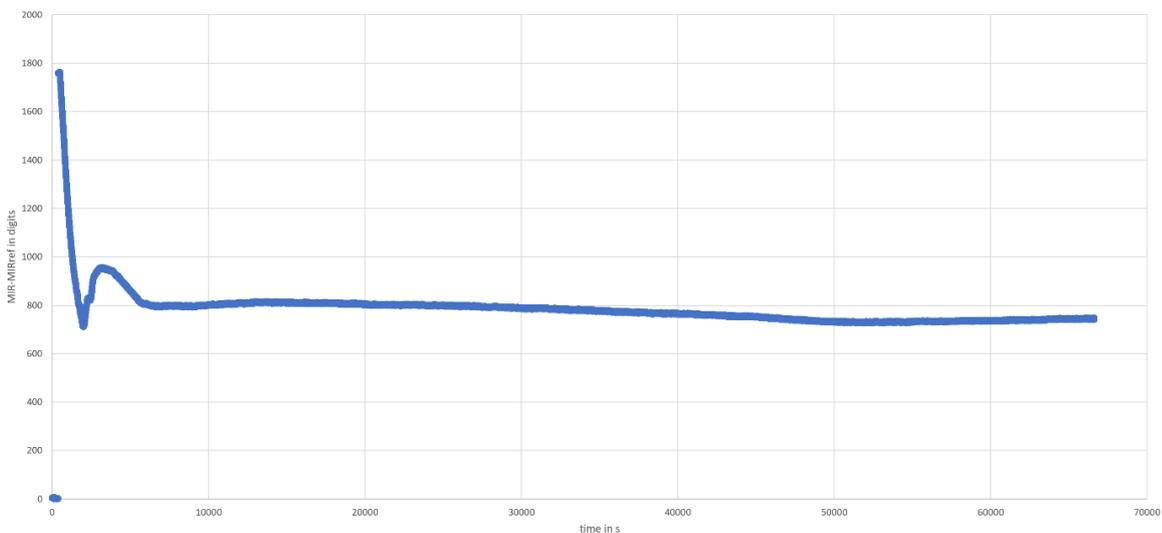


- Время испарения: прим. 83 мин
- Остатки масла: прим. 45%

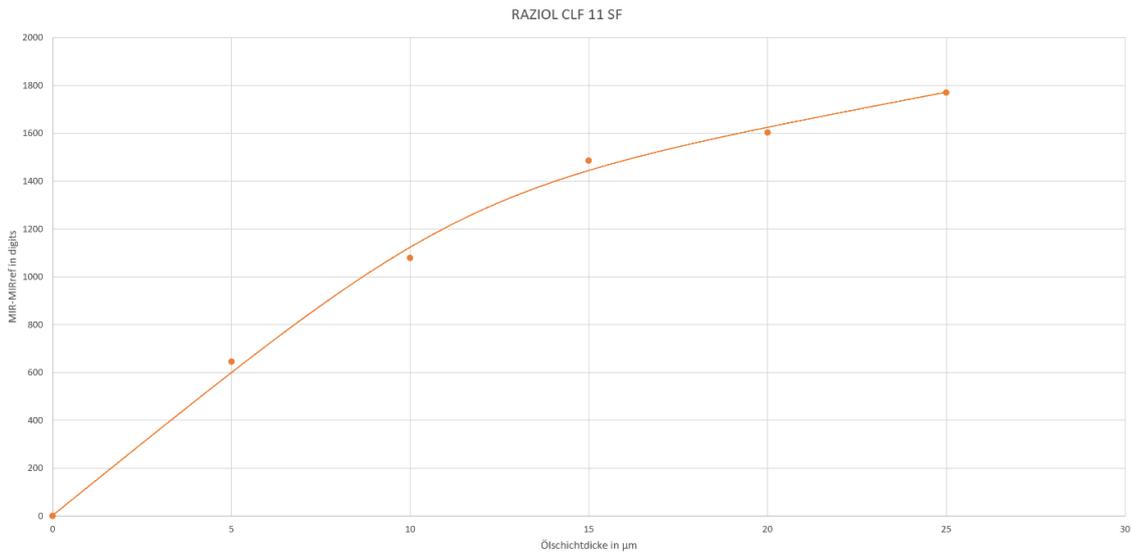
RAZIOL CLF 11 SF 1st measurement zoomed



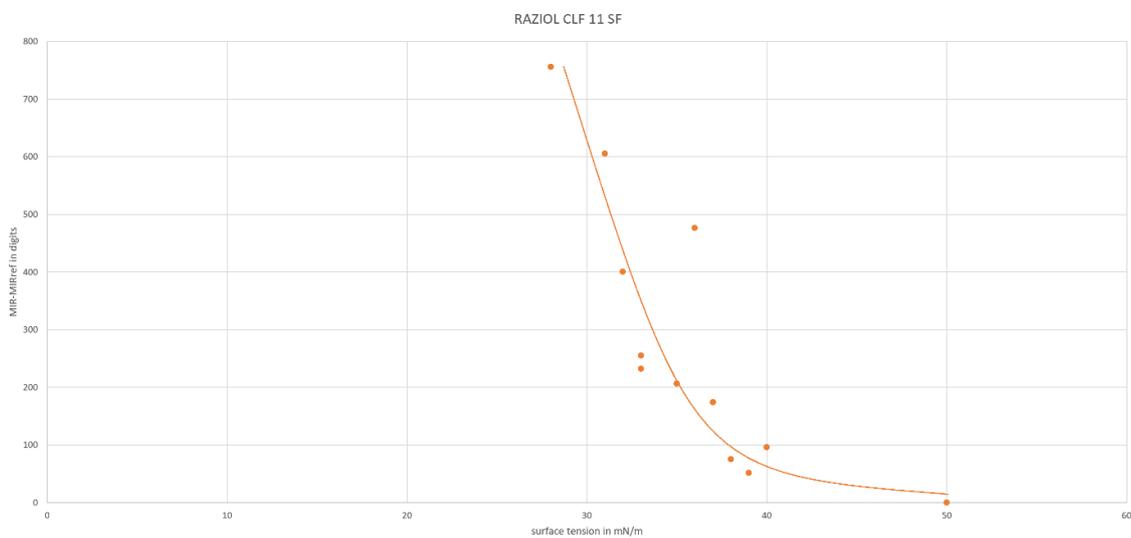
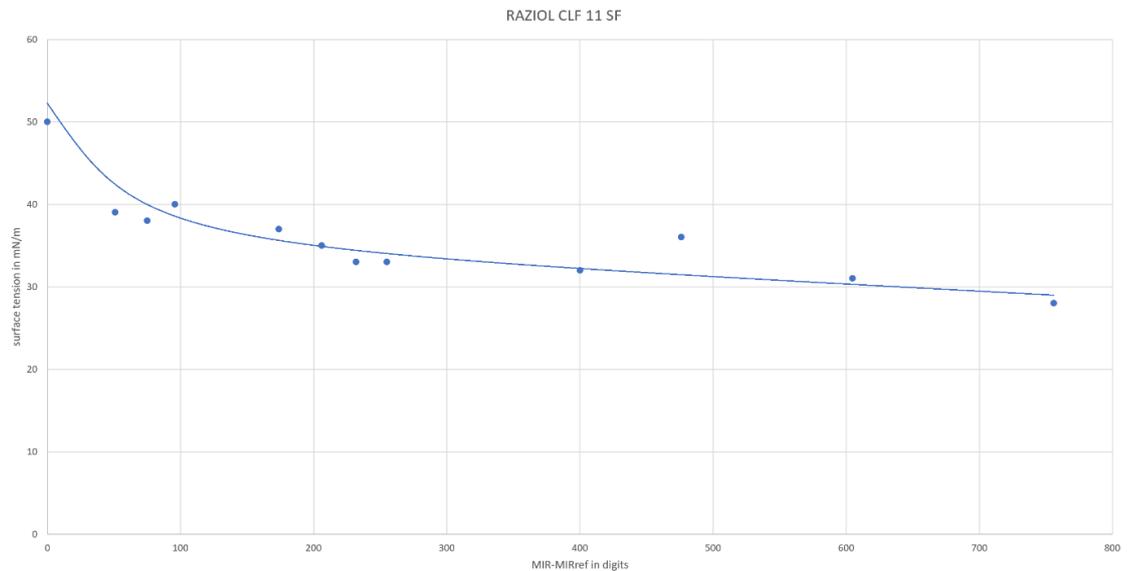
RAZIOL CLF 11 SF 1st measurement



6.11.2 Соотношение между толщиной пленки масла и замеренным нормированным сигналом



6.11.3 Нормированный сигнал датчика в зависимости от поверхностного натяжения



6.12 Raziol CLF 11 SG

6.12.1 Время испарения содержащихся в масле летучих компонентов

CLF 11 SG

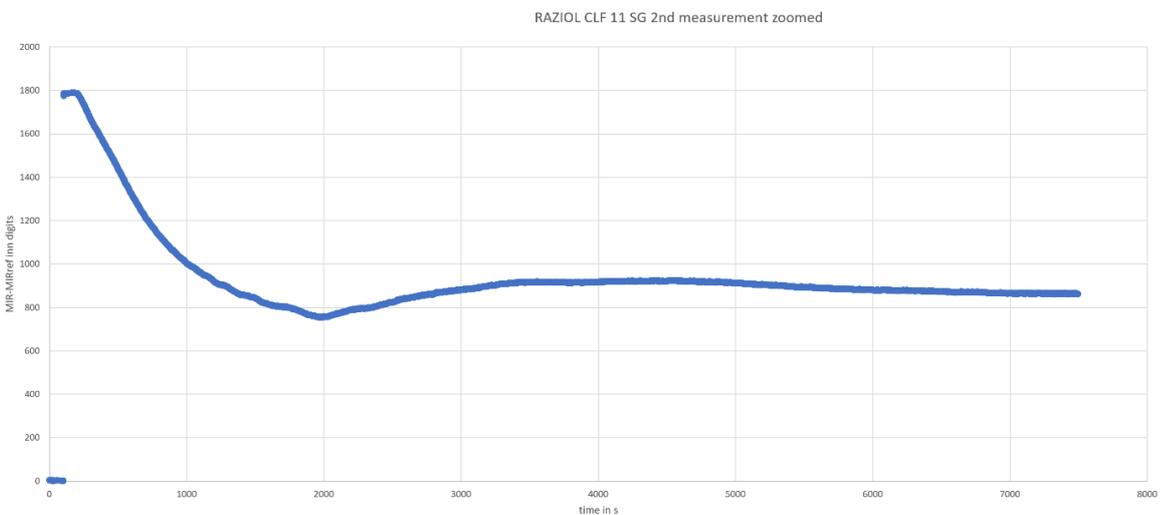
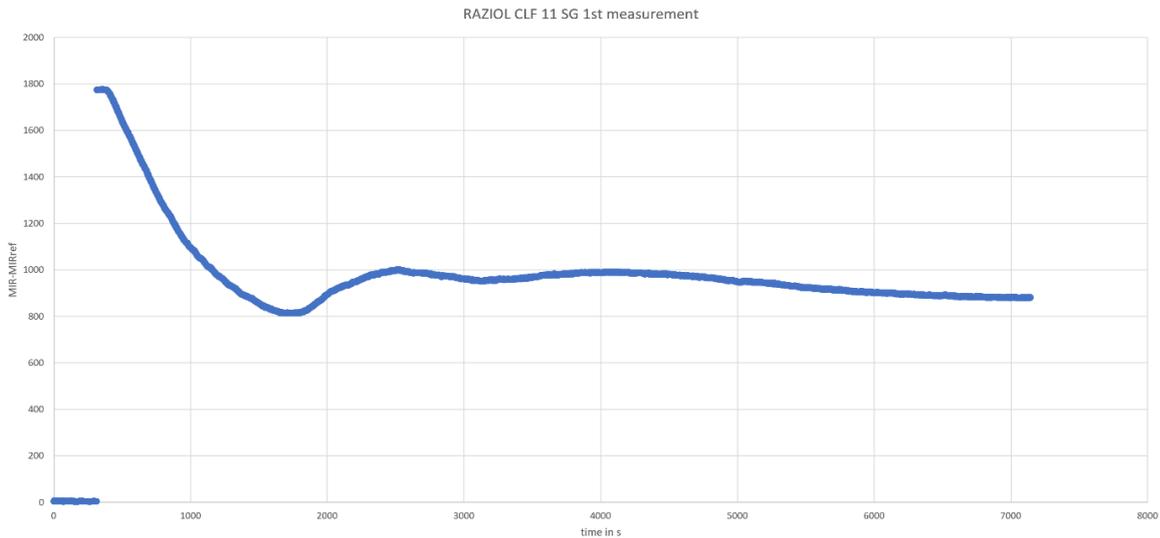
Rückstandsverhalten

gering < <

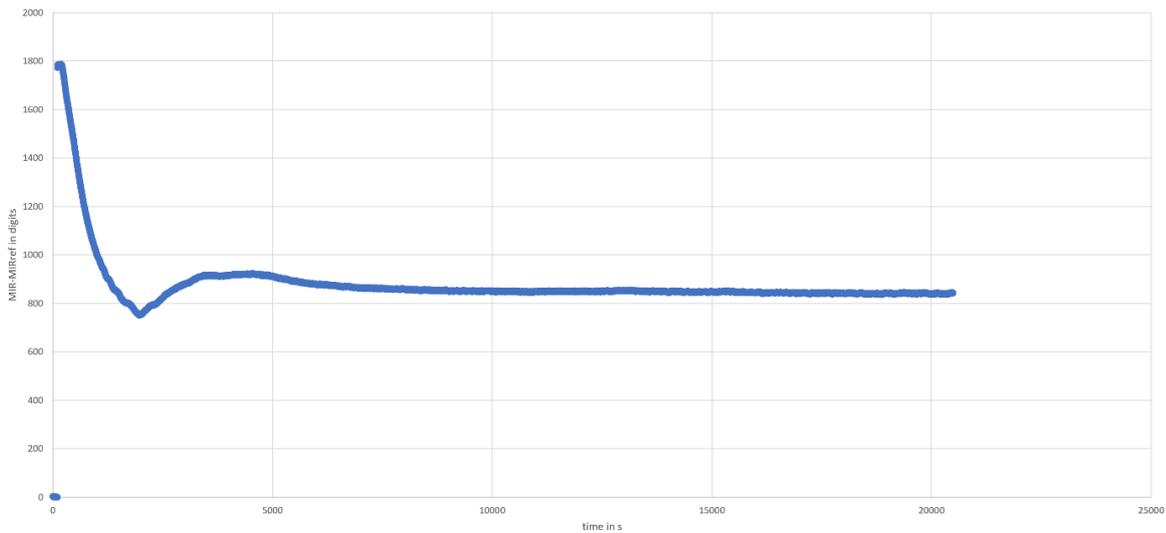
> > hoch



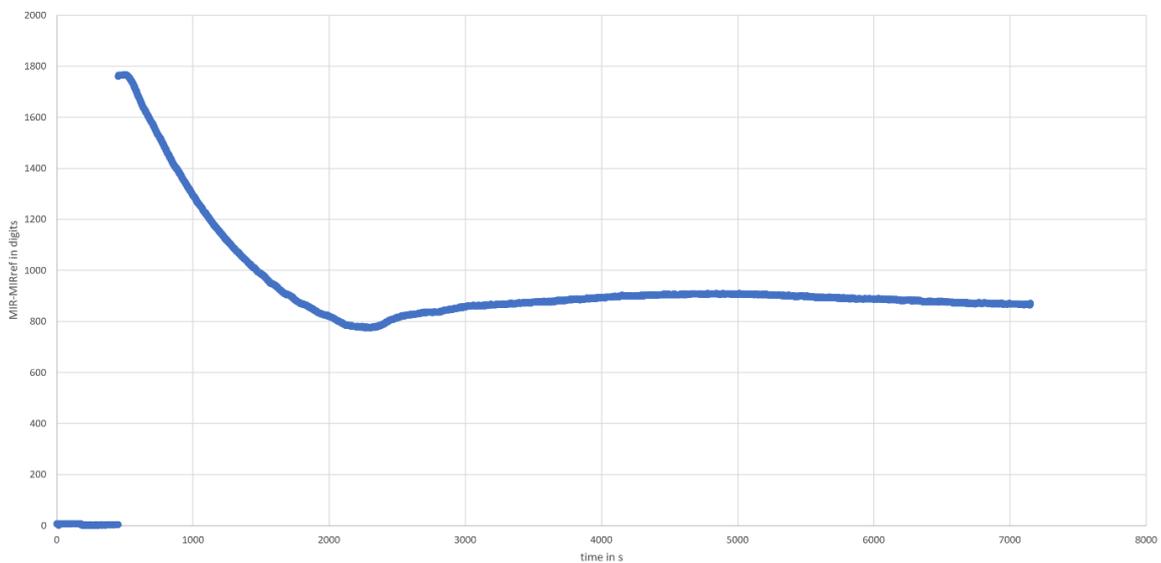
- Время испарения: прим. 100 мин
- Остатки масла: прим. 48%



RAZIOL CLF 11 SG 2nd measurement



RAZIOL CLF 11 SG 3rd measurement



6.12.2 Нормированный сигнал датчика в зависимости от поверхностного натяжения

RAZIOL CLF 11 SG

