

# Leistungsbeschreibung – Magnetpartikelspektrometer

## 1. ALLGEMEINES

Zur Forschung des Lehrstuhls Messtechnik im Bereich des Magnetic Particle Imaging wird die Entwicklung und Auslieferung eines dreidimensionalen Magnet Partikel Spektrometers mit beliebigen magnetischen Anregungsfeldformen zur Untersuchung magnetischen Materials benötigt.

Ein Magnet-Partikel-Spektrometer (MPS) ist ein Messgerät zur Charakterisierung magnetischer Materialien, insbesondere superparamagnetischer Eisenoxidpartikel. Es regt die Partikel mit einem zeitlich veränderlichen Magnetfeld an und misst deren nichtlineare magnetische Antwort. Aus dem Spektrum der entstehenden Oberwellen lassen sich Eigenschaften wie Partikelgröße, Magnetisierung, Relaxationsverhalten und Konzentration bestimmen. Das Gerät wird vor allem in der Forschung zu Magnetic Particle Imaging (MPI) eingesetzt, um Tracer für die medizinische Bildgebung zu optimieren. Weitere Anwendungen liegen in der Materialanalyse, der Bioanalytik, der Zellmarkierung sowie in diagnostischen Schnelltests, bei denen magnetische Marker nachgewiesen werden.

## INFORMATIONEN ZUM DOKUMENT

### Legende:

1 ... X: Laufende Nummer, bitte im Angebot darauf Bezug nehmen.

„P“ / „W“: Pflicht / Wunsch

N: Zur Bewertung des eingereichten Angebots ist ein Nachweis, z.B. eine Messung aus dem angebotenen Gerät, einem vergleichbaren Prototyp oder bauähnlichen Gerät vorzulegen. Dieser Nachweis ist für jede der definierten Forderungen zu erbringen.

## DEFINITIONEN/ZUBEHÖR

Feldsonde	Kalibrierspule, mind. Haupt- und eine orthogonale Achse. Lässt sich ins Zentrum der Probenöffnung platzieren. Spezifikationen (Induktivität L, Widerstand R, Durchmesser d, Anzahl Wicklungen N) sind zu liefern.
	Optional kann eine Kalibrierung der Feldsonde angeboten werden.

## PRÜFFELDER

Für die geplanten Anwendungen ist eine flexible Felderzeugung unerlässlich. Um die geplanten Messungen zu repräsentieren, werden im Folgenden mehrere repräsentative Feldsequenzen als Prüffelder definiert, auf die in den weiteren Punkten Bezug genommen wird.

$\vec{B}_1(t) = \begin{pmatrix} 12 \text{ mT} \cdot \cos(2\pi \cdot 2.5 \text{ MHz} / 99 \cdot t) \\ 12 \text{ mT} \cdot \cos(2\pi \cdot 2.5 \text{ MHz} / 96 \cdot t) \\ 12 \text{ mT} \cdot \cos(2\pi \cdot 2.5 \text{ MHz} / 102 \cdot t) \end{pmatrix}$
$\vec{B}_2(t) = \begin{pmatrix} 20 \text{ mT} \cdot \sin(2\pi \cdot 62.5 \text{ kHz} \cdot t) \\ 20 \text{ mT} \cdot \text{tri}(2\pi \cdot 10 \text{ Hz} \cdot t) \\ 10 \text{ mT} \cdot \text{tri}(2\pi \cdot 100 \text{ Hz} \cdot t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 5 \text{ mT} \\ 0 \text{ mT} \\ 0 \text{ mT} \end{pmatrix}$
$\vec{B}_3(t) = \begin{pmatrix} 6 \text{ mT} \cdot \text{rect}(2\pi \cdot 1 \text{ kHz} \cdot t) \\ 12 \text{ mT} \cdot \text{tri}(2\pi \cdot 25 \text{ kHz} \cdot t) \\ 6 \text{ mT} \cdot \text{tri}(2\pi \cdot 31.25 \text{ kHz} \cdot t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \text{ mT} \\ 0 \text{ mT} \\ 6 \text{ mT} \end{pmatrix}$
$\vec{B}_4(t) = \begin{pmatrix} 20 \text{ mT} \cdot \cos(2\pi \cdot 2.5 \text{ MHz} / 99 \cdot t) \\ 20 \text{ mT} \cdot \cos(2\pi \cdot 2.5 \text{ MHz} / 96 \cdot t) \\ 20 \text{ mT} \cdot \cos(2\pi \cdot 2.5 \text{ MHz} / 102 \cdot t) \end{pmatrix}$

$\vec{B}_5(t) = \begin{pmatrix} 20 \text{ mT} \cdot \sin(2\pi \cdot 25 \text{ kHz} \cdot t) \\ 20 \text{ mT} \cdot \cos(2\pi \cdot 25 \text{ Hz} \cdot t) \\ 20 \text{ mT} \cdot \cos(2\pi \cdot 8 \text{ Hz} \cdot t) \end{pmatrix}$
$\vec{B}_x(t) = \begin{pmatrix} 20 \text{ mT} \cdot \sin(2\pi \cdot 25 \text{ kHz} \cdot t) \\ 0 \text{ mT} \\ 0 \text{ mT} \end{pmatrix}$
$\vec{B}_y(t) = \begin{pmatrix} 20 \text{ mT} \cdot \sin(2\pi \cdot 25 \text{ kHz} \cdot t) \\ 0 \text{ mT} \\ 0 \text{ mT} \end{pmatrix}$
$\vec{B}_z(t) = \begin{pmatrix} 0 \text{ mT} \\ 0 \text{ mT} \\ 20 \text{ mT} \cdot \sin(2\pi \cdot 25 \text{ kHz} \cdot t) \end{pmatrix}$

## 2. LEISTUNGSBESCHREIBUNG

Benötigt wird ein Gerät inkl. Zubehör mit folgenden Eigenschaften:

### FELDGENERATOR

P	Frei zugängliches Volumen des Feldgenerators
1	Der Feldgenerator und -empfänger innerhalb des Spektrometers muss eine frei zugängliche Bohrung von mindestens 3 mm Durchmesser aufweisen.

### ANREGUNGSFELD

P	Dreiachsiges Anregungsfeldrichtung
2	Der Feldgenerator innerhalb des Spektrometers muss magnetische Felder in drei orthogonalen Raumrichtungen (nachfolgend Achse 1, Achse 2, Achse 3) erzeugen können.

P	Erzeugung von sinusförmigen Feldamplituden in einer Richtung
	Für alle Frequenzen der nachfolgend genannten Frequenzbereiche muss in einer Achsrichtung ein sinusförmiges Magnetfeld mit den angegebenen Amplituden erzeugt werden können.
3.1	1 Hz bis 120 kHz: mindestens 20 mT
3.2	120 kHz bis 150 kHz: mindestens 12 mT
3.3	150 kHz bis 250 kHz: mindestens 6 mT
N	Die Verifikation kann mittels der Feldsonde, nach Regelung der Feldparameter durch das Gerät, erfolgen. Der Nachweis erfolgt mindestens bei der geringsten, größten und einer beliebigen Frequenz des jeweils angegebenen Bereiches, wobei die Angabe des maximal stabil erreichten Feldwertes ausreicht.

P	Erzeugung von sinusförmigen Feldamplitude in drei orthogonalen Richtungen
	Für alle Frequenzen der nachfolgend genannten Frequenzbereiche muss in allen drei Raumrichtungen gleichzeitig ein sinusförmiges Magnetfeld mit den angegebenen Amplituden erzeugt werden können.
4.1	1 Hz - 30 kHz: mindestens 20 mT
4.2	30 kHz – 50 kHz: mindestens 12 mT
4.3	50 kHz – 90 kHz: mindestens 6 mT
N	Die Verifikation kann mittels der Feldsonde, nach Regelung der Feldparameter durch das Gerät, erfolgen. Der Nachweis erfolgt mindestens bei der geringsten, größten und einer beliebigen Frequenz des jeweils angegebenen Bereiches, wobei die Angabe des maximal stabil erreichten Feldwertes ausreicht.

<b>P</b>	<b>Erzeugung von Gleichfeldern</b>
5	Für alle Raumrichtungen muss ein DC-Feld mit einer Amplitude von mindestens 35 mT für 0,1 s erzeugt werden können.

<b>P</b>	<b>Erzeugung beliebiger Feldformen</b>
6	Für alle Raumrichtungen muss ein Magnetfeld erzeugt werden können, das durch eine vom Nutzer frei wählbare Wellenform (AC) inklusive Überlagerung mit statischen Feldern (Gleichfeld, DC) definiert wird.

<b>P</b>	<b>Formtreue der erzeugten Magnetfelder</b>
	Für alle Raumrichtungen muss ein Magnetfeld erzeugt werden können, das durch eine vom Nutzer frei wählbare Wellenform (AC) inklusive Überlagerung mit statischen Feldern (Gleichfeld, DC) definiert wird. Der mittlere absolute Fehler (MAE) des definierten Anregungsfeldes im Zeitbereich darf folgende Grenzwerte nicht überschreiben.
7.1	Ohne Einschränkung der Allgemeinheit muss der MAE des Prüffeldes $\vec{B}_1(t)$ bei einer Messzeit von 0,1 s kleiner als 0,1 mT sein.
7.2	Ohne Einschränkung der Allgemeinheit muss der MAE des Prüffeldes $\vec{B}_2(t)$ bei einer Messzeit von 0,1 s kleiner als 0,1 mT sein.
7.3	Ohne Einschränkung der Allgemeinheit muss der MAE des Prüffeldes $\vec{B}_3(t)$ bei einer Messzeit von 0,1 s kleiner als 0,1 mT sein.

<b>P</b>	<b>Sendefeldhomogenität</b>
8	Für jede Achse muss die maximale Feldabweichung innerhalb eines zylindrischen Volumens von mindestens $\varnothing 2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ , das sich innerhalb des frei zugänglichen Volumens befindet, bezogen auf den zentralen Messpunkt kleiner als 2 % sein ( $  \text{max. Abweichung} - \text{zentraler Punkt}   /   \text{zentraler Punkt}  $ ).
N	Der Nachweis der Spulensensitivität erfolgt durch die Dokumentation der Spulengeometrie in Verbindung mit einer magnetischen Feldsimulation bei 1 A Erregerstrom. Die Simulation ist mittels geeigneter numerischer Verfahren (z.B. Finite-Elemente-Methode oder Biot-Savart-basierte Methoden) durchzuführen. Für jede Spule sind mindestens Magnetfeldkarten der drei Koordinatenebenen (xy-, xz-, yz-Ebene) zu übermitteln, wobei der Koordinatenursprung im Punkt maximaler Spulensensitivität zu positionieren ist.  Optional: Zusätzlich ist über geeignete Prüfmethode die vorlagengerechte Fertigung und Montage (Maßhaltigkeit, geometrische Toleranzprüfung) der Spuleneinheit zu dokumentieren.

<b>P</b>	<b>Magnetische und elektrische Entkopplung der Achsen</b>
9	Im Betrieb ist der zu Feldverzerrung führende „Crosstalk“ zwischen den Anregungsfeld-Achsen auf ein Minimum, mindestens jedoch auf die im Nachweis spezifizierten Grenzwerte, zu reduzieren.
N	Der Nachweis kann mittels der Feldsonde, deren Spezifikationen mitzuliefern sind, erfolgen. Hierzu ist für jede Achse nacheinander ein Zielfeld von 20 mT bei 25 kHz zu erzeugen. Die maximalen Feldkomponenten in den jeweils anderen Achsen müssen weniger als 1 % des Zielfeldes betragen.  Alternativ kann der Nachweis über eine einachsige Feldsonde, deren Spezifikationen mitzuliefern sind, erfolgen. In diesem Fall erfolgt der Nachweis über eine Messung des Stroms in den jeweils anderen Achsen. Die gemessenen Ströme pro Achse müssen

	unter Berücksichtigung der zu dokumentierenden maximalen Spulensensitivität so gering sein, dass die resultierenden Feldkomponenten 1 % des Zielfeldes nicht überschreiten ( $I_{\text{gemessen}} \times \text{Sensitivität}_{\text{max}} \leq 0,01 \times B_{\text{Ziel}}$ )
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>P</b>	<b>Temperaturüberwachung</b>
10	Zur Sicherstellung des Betriebs ist eine Temperaturüberwachung des Feldgenerators zu implementieren. Diese erfolgt mittels geeigneter Methoden (Temperatur-Sensorik, Leistungsüberwachung, etc.) und warnt den Nutzer über entsprechende Indikatoren vor möglichen Geräteschäden.

<b>P</b>	<b>Temperaturstabilität</b>
11	Das System muss das Prüffeld $\vec{B}_4(t)$ für mindestens 10 s erzeugen können, ohne dass die Spulentemperatur den sicheren und spezifizierten Bereich verlässt.
N	Der Nachweis erfolgt durch Messung der Temperatur des Feldgenerators vor und nach der beschriebenen Feldsequenz.

<b>P</b>	<b>Dauerbetrieb</b>
12	Um für die Durchführung wiederholter Messungen geeignet zu sein, muss das System bei einer wiederholten Messung mit Prüffeld $\vec{B}_4(t)$ einen duty cycle von mindestens 10 % (mindestens eine Messung von 1 s Messdauer alle 10 s) erreichen können, ohne den spezifizierten und sicheren Temperaturbereich zu verlassen

<b>W</b>	<b>Temperaturschutz</b>
13	Der Feldgenerator muss über ein Temperaturschutzsystem verfügen, das mittels geeigneter Überwachungsmethoden (Sensorik, Leistungsüberwachung, etc.) zusätzlich zur Warnung vor Übertemperatur bei kritischen Werten eine sofortige Schutzabschaltung auslöst.

## EMPFANG

<b>P</b>	<b>Detektionsbandbreite</b>
14	Die Bandbreite der Empfangskette (z.B. basierend auf der Resonanz der Empfangskette) muss mindestens 2 MHz betragen

<b>P</b>	<b>Minimal detektierbares magnetisches Moment</b>
15	Das minimal detektierbare magnetische Moment muss so gering wie möglich sein und ist als Messspektrum einer typischen Messung mit einem leeren Probengefäß im typischen Messmodus des MPS zu prüfen.
N	<p>Der Nachweis erfolgt als Angabe des Amplitudenspektrums pro Empfangskanal im magnetischen Moment <math>m(f)</math> einer typischen Messung eines leeren Probengefäßes bei Prüffeld <math>\vec{B}_5(t)</math>, gemessen für eine Sekunde mit einer Frequenzauflösung von 1 Hz.</p> <p>Aus diesen Spektren ist für jeden Kanal der Wert <math>X</math> in <math>\text{Am}^2\text{Hz}</math> zu extrahieren und anzugeben, für den gilt, dass maximal 0,1 % der Frequenzen <math>f</math> im Frequenzbereich von 10 kHz bis zur spezifizierten Bandbreite der Empfangskette eine Amplitude <math>m(f) &gt; \frac{X}{f}</math> haben.</p> <p>Optional (unbewertet) kann zur Vergleichbarkeit das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) für ein magnetisches Moment, das mit der Feldsonde generiert wird, über die gesamte Bandbreite der Empfangskette angegeben werden.</p>

	Optional (unbewertet) kann das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) für eine fest definierte Menge eines frei verfügbaren Materials (z.B.: perimag, Resotran) über die gesamte Bandbreite der Empfangskette angegeben werden.
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>P</b>	<b>Feedthrough-Unterdrückung</b>
	Um entsprechende Messgenauigkeiten zu ermöglichen, ist eine Unterdrückung der Durchkopplung der Anregungssequenzen in die Empfangskette (Feedthrough) zu implementieren.
16.1	Für die Prüffelder $\vec{B}_x(t)$ , $\vec{B}_y(t)$ und $\vec{B}_z(t)$ , darf die verbleibende Signalstärke der Anregungsfrequenz sowie von harmonischen Oberschwingungen der Anregungsfrequenzen im Zeitbereich aller Empfangskanäle maximal $10 \mu\text{Am}^2$ betragen.
16.2	Für die Prüffelder $\vec{B}_1(t)$ , $\vec{B}_2(t)$ und $\vec{B}_3(t)$ darf die Durchkopplung den Dynamikbereich des Empfängers nicht überschreiten. Dabei sind dieselben Einstellungen wie in Punkt 1.1 zu verwenden.
N	Der Nachweis erfolgt jeweils als Angabe der maximalen Durchkopplung im Zeitbereich sowie als Amplitudenspektrum über den Frequenzbereich der Detektionsbandbreite während einer nicht hintergrundkorrigierten Leermessung.

<b>P</b>	<b>Signaldigitalisierung Nominelle Auflösung</b>
17	Der Analog-Digital-Wandler (ADC) innerhalb des MPS muss eine nominale Auflösung von mindestens 14 Bit aufweisen.

<b>W</b>	<b>Signaldigitalisierung Effektive Auflösung</b>
18	Der Analog-Digital-Wandler (ADC) innerhalb des MPS muss inklusive der digitalen Datenverarbeitung eine effektive Auflösung (ENOB) von mindestens 12 Bit aufweisen.
N	Optional kann eine Messung beigefügt werden, die entsprechend geltenden Standards (z.B. IEEE 1241) die effektive Bitanzahl ausweist.

<b>P</b>	<b>Signaldigitalisierung Abtastrate</b>
19	Die Abtastrate des Analog-Digital-Wandler (ADC) innerhalb des MPS muss durch den Nutzer einstellbar sein und mindestens 6 MS/s erreichen können.

## KALIBRIERUNG

<b>P</b>	<b>Transferfunktion / Momentkalibrierung</b>
20.1	Für das System muss basierend auf der mitzuliefernden Feldsonde oder anderer geeigneter Methoden eine Kalibrierung der gemessenen Empfangssignale aller Achsen auf das magnetische Moment innerhalb des Probenraums (Transferfunktion) mit ausgeliefert werden.
20.2	Diese Kalibration muss in regelmäßigen Abständen durch die Nutzenden wiederholbar sein. Dazu sind entsprechende Dokumente (Dokumentation, Anleitung) und entsprechende Softwarekomponenten (z.B. Kalibrationsskripte) inkl. der benötigten Kalibrationsmittel und deren Dokumentation (vgl. Feldsonde) mit auszuliefern.

<b>P</b>	<b>Feldkalibrierung ab Werk</b>
21	Für jede Messachse sind die zur Kalibrierung der Anregungs-Magnetfeldwerte verwendeten Parameter (z.B. Amplitude, Phase, Offset) in Form eines Werkskalibrierungsdokuments bei Auslieferung zu übergeben. Das Dokument muss die Kalibrierparameter sowie das Kalibrierverfahren dokumentieren.
	Optional kann die Rückverfolgbarkeit zu Referenzstandards dokumentiert werden.
	Optional kann eine Kalibrierzertifikat angeboten werden

<b>P</b>	<b>Feldkalibrierung durch Nutzer</b>
22	Das System muss so ausgelegt sein, dass die Feldkalibrierung durch den Nutzer mittels mitgelieferter Kalibrierungsausrüstung durchgeführt oder nachgeprüft werden kann. Dazu sind bereitzustellen: Prüfspule mit dokumentierter Geometrie, ggf. zugängliche Messpunkte für externe Messgeräte, detaillierte Kalibrieranleitung sowie Softwarefunktion zur Eingabe neuer Kalibrierparameter.

#### PROBE

<b>P</b>	<b>Probenhalter</b>
23	Für das MPS muss ein Probenhalter mitgeliefert werden, mit dem flüssige Proben in standardisierten Probengefäßen (z. B. Eppendorf-Reaktionsgefäße, NMR-Röhrchen) mit einem Mindestvolumen von 5 µL innerhalb des frei zugänglichen Volumens vermessen werden können. Dieses Standardprobengefäß oder ein passendes Äquivalent muss im Standard-Laborbedarf erhältlich sein und die Artikelnummer mind. eines Herstellers ist anzugeben.
	Optional kann ein höhenverstellbarer Probenhalter angeboten werden, der es dem Nutzer ermöglicht, manuell die für seine Probe optimale Position innerhalb des Messvolumens zu wählen.

<b>P</b>	<b>Probentemperierung</b>
24	Das MPS ist für eine aktive Temperaturregelung des Probenvolumens vorbereitet. Dies beinhaltet die konstruktive Temperaturfestigkeit des Feldgenerators und der Empfangsspulen sowie der konstruktiven Elemente, die mit diesen in Kontakt stehen bis mindestens 80°. Ziel ist es das Probengefäß mit temperierter Luft zu umströmen. Hierzu muss daher ein Anschluss für einen Luftstrom zum Probengefäß vorgesehen sein sowie die Möglichkeit die Temperatur der Luft mittels eines geeigneten Sensors nahe des Probengefäßes, mindestens jedoch beim Verlassen des Feldgenerators, zu bestimmen.
	Optional: Das MPS verfügt über eine aktive Temperaturstabilisierung der Probe, über welche eine Temperatur von 10 °C bis 50 °C mit einer Temperaturkonstanz von $\pm 0,5$ °C über 30 Sekunden erreicht werden kann. Dazu wird die Temperatur der Probe oder des Probengefäßes gemessen und während der Messung aufgezeichnet. Die Solltemperatur kann über die Software eingestellt und angezeigt werden. Das System weist eine maximale Aufwärmzeit von 30 Minuten bis zur Stabilisierung auf und gibt bei Überschreitung der Temperaturtoleranzen eine Warnung aus. Die Temperaturdaten können gemeinsam mit den Messdaten exportiert werden. Die Temperaturregelung verwendet ausschließlich nicht-magnetische Komponenten und darf die MPS-Messung nicht beeinflussen.

#### SOFTWARE

<b>P</b>	<b>Schnittstelle IO-Einheit</b>
25	Für den direkten Zugriff auf die IO-Einheit (Messkarte) ist eine offene und dokumentierte Schnittstelle (z.B. TCP/IP oder SCPI) bereitzustellen. Die Schnittstelle muss vollständig dokumentiert sein und Beispielcode sowie eine API-Referenz enthalten.

<b>P</b>	<b>Software</b>
26	Die zum Betrieb des MPS eingesetzte Software muss alle verfügbaren Mess- und Steuerfunktionen programmatisch zugänglich machen. Dies umfasst das Auslesen von Messwerten, Datenabfragen, Parametrierung von Messsequenzen, Status- und

	Zustandsabfragen, Parametersetzung und Konfigurationsänderungen, Start/Stop-Funktionen für Messprozesse und Alarm- und Ereignisbehandlung.
--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>P</b>	<b>Schnittstelle Julia</b>
27	<p>Die Software zum Betrieb des MPS muss eine direkte Anbindung an die „Julia Programming Language“ ermöglichen. Die konkrete Software-Lösung ist herstellerunabhängig wählbar, sofern eine vollständige Integration mit Julia gewährleistet wird.</p> <p>Der Auftragnehmer hat native Julia-Pakete oder entsprechende Wrapper für die Systemanbindung bereitzustellen, die direkte Aufrufe aller Mess- und Steuerfunktionen aus Julia heraus ermöglichen. Dabei muss eine bidirektionale Datenübertragung zwischen Julia und dem MPS sowie performantes Datenstreaming in Julia-kompatible Datenstrukturen sichergestellt werden.</p> <p>Zur Dokumentation sind Julia-spezifische Code-Beispiele und Tutorials bereitzustellen.</p>

<b>P</b>	<b>Datenformate</b>
28	<p>Das System muss den Export von Roh- und Metadaten im Speicherformat MDFv2 (Magnetic Particle Imaging Data Format Version 2) oder höher unterstützen. Die Software hat sowohl die erfassten Rohdaten als auch die zugehörigen Metadaten in strukturierter Form zu exportieren, wobei das MDF-Format den Standards für Magnetic Particle Imaging entsprechen und die Kompatibilität zu gängigen MPI-Analyse-Tools gewährleisten muss.</p>

<b>P</b>	<b>Sequenzierungsinterface</b>
29	<p>Das System muss ein dokumentiertes Interface zur Erstellung neuer Mess- bzw. Anregungsfeldsequenzen bereitstellen. Das Interface muss die programmatische Erstellung und Modifikation von Messsequenzen sowie die Definition von Sequenzparametern, Timing und Abläufen ermöglichen.</p> <p>Der Auftragnehmer hat Code-Beispiele und Tutorials für die Sequenzerstellung sowie eine Beschreibung aller verfügbaren Kommandos und Parameter bereitzustellen. Zusätzlich sind Best-Practice-Leitfäden für die Sequenzentwicklung zu erstellen. Das Sequenzierungsinterface muss Kompatibilität mit der Julia Programming Language gewährleisten.</p>
	Das Sequenzierungsinterface kann optional als grafische Benutzeroberfläche (GUI) und/oder mit vorgefertigten Bausteinen zur vereinfachten Sequenzerstellung angeboten werden.

<b>P</b>	<b>Datenauswertung</b>
30	<p>Für eine grundlegende Datenauswertung ist eine grafische Oberfläche bereitzustellen, die die aufgenommenen Messungen darstellen kann. Dabei sind mindestens die Zeitdaten und Amplitudenspektren, konfigurierbar als Rohdaten oder im magnetischen Moment, darzustellen. Es müssen mehrere Messungen zum Vergleich in derselben Darstellung angezeigt werden können.</p>
	Optional können weiterführende Auswerterroutinen für komplexere Messungen angeboten werden, z.B. Systemmatrizen, Point Spread Function, Magnetisierungskurven
	Optional können diese weiterführenden Auswertungen ebenfalls in einer grafischen Oberfläche angeboten werden

## BETRIEBSSICHERHEIT

<b>P</b>	<b>Nutzerinterface</b>
31	Der Systemstatus (Betriebszustand, Status der Leistungskomponenten, Fehlermeldungen, Temperaturen, etc.) ist dem Nutzer über analoge und/oder digitale Indikatoren eindeutig darzustellen.

<b>P</b>	<b>Sicherheits- und Schutzfunktionen</b>
32	<p>Das System muss umfassende Sicherheitsfunktionen in Hard- oder Software implementieren, um Benutzerfehlbedienungen abzufangen und Schäden an System und Personal zu vermeiden.</p> <p>z.B.:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Nothalt-Funktion mit sofortiger Abschaltung leistungsführender Komponenten</li><li>• Plausibilitätsprüfung aller Eingabeparameter vor der Ausführung</li><li>• Warndialoge bei kritischen Systemänderungen</li></ul>

## ALLGEMEINE ANFORDERUNGEN

<b>P</b>	<b>Infrastruktur</b>
33	Das angebotene Gerät darf keine Infrastruktur über einen standardmäßigen Dreiphasenwechselstrom Anschluss (3~/16 A) hinaus benötigen. Insbesondere wird kein externes Kühlmedium benötigt.

<b>P</b>	<b>Betriebsbedingungen</b>
34	Das Gerät muss in einer Standard-Laborumgebung (17-26 °C, 30-60 %rH) betrieben werden können.

<b>P</b>	<b>Handbuch / Standard Operating Procedures</b>
35	Das Gerät muss mit einem Handbuch ausgeliefert werden, dass die Kernfunktionen des Gerätes dokumentiert und alle benötigten Informationen zur Nutzung des Geräts enthält. Insbesondere sind „Standard-Operating-Procedures“ (SOPs) mitzuliefern, die den Ablauf einer Standard-Messung enthalten. Zusätzlich ist zu dokumentieren, durch welche Szenarien eine Gefahr für das System entstehen kann, und wie diese durch den Nutzer zu vermeiden sind.

<b>P</b>	<b>Warmup-Zeit des Systems</b>
36	Es muss möglich sein, innerhalb von 5 Minuten nach dem Einschalten eine Messung durchzuführen.

<b>P</b>	<b>CE-Konformität</b>
37	Das System muss die CE-Konformität über eine Konformitätserklärung nachweisen.

## 3. INBETRIEBNAHME

Inbetriebnahme des MPS an der Verwendungsstelle: Grundgerät, Software und weitere Leistungen gemäß Kapitel 2. Leistungsbeschreibung.

## 4. LIEFER- UND LEISTUNGORT

Die Lieferung erfolgt frei Verwendungsstelle (DPU Incoterms 2020):

Universität Rostock  
Fakultät für Informatik und Elektrotechnik  
Experimentalgebäude 1, Labor K07  
Albert-Einstein-Str. 2  
18059 Rostock



## 5. GEWÄHRLEISTUNG

Die Frist zur Geltendmachung von Ansprüchen aufgrund mangelhafter Lieferung oder Leistung beträgt mindestens zwölf Monate und beginnt mit dem Zeitpunkt, an dem der Mangel erkannt oder ohne grobe Fahrlässigkeit hätte erkannt werden können.

## 6. ZAHLUNGSBEDINGUNGEN

Die Vergütung wird nach Abschluss des Projekts, insbesondere nach Übergabe der Projektergebnisse bzw. des Abschlussberichts, in Höhe der tatsächlich angefallenen Kosten, jedoch maximal bis zur im Angebot ausgewiesenen Gesamtvergütung und nach Zugang einer ordnungsgemäßen Rechnung zur Zahlung fällig. Sämtliche Zahlungen erfolgen nach ordnungsgemäßer Rechnungsstellung innerhalb der vertraglich vereinbarten Zahlungsfrist.

## 7. ANGEBOTSBEWERTUNG

Bei der Bewertung der Angebote werden 70% der Punkte über den Preis vergeben. Die restlichen 30% der Punkte werden für die mit einem „W (Wunsch)“ versehenen Aspekte des Leistungsverzeichnisses entsprechend nachfolgendem Bewertungsschema vergeben:

W (Wunsch)	Punkte
Temperaturschutz (13)	3
Signaldigitalisierung Effektive Auflösung (18)	1
Höhenverstellbarer Probenhalter (23)	1
Probentemperierung (24)	2
Bereitstellung komplexerer Auswerteroutinen (30)	2
Interface zu Auswerteroutinen mit GUI (30)	1