

# Hinweise zur Beantragung und zum Betrieb von Elektronenmikroskopen

Empfehlungen des Ausschusses für wissenschaftliche Geräte und Informationstechnik der DFG

Dezember 2020

## 1. Einleitung

Die Beschaffung von Elektronenmikroskopen (EM) mit Kosten über 200.000 Euro erfolgt an deutschen Hochschulen in der Regel im Rahmen der Großgeräteprogramme „Forschungsgroßgeräte nach Art. 91b GG“ (FUGG) oder „Großgeräte der Länder“.

Grundlegende Voraussetzung für die Antragstellung ist die Fähigkeit zum professionellen Betrieb des beantragten EM unter Leitung eines ausgewiesenen Wissenschaftlers. Dieser Nachweis setzt einschlägige (publizierte) Erfahrungen mit Gerätetechnologie und Analysemethoden voraus.

Bei der Planung der Beschaffung eines EM sollte grundsätzlich erwogen werden, ob der Bedarf nicht durch bereits an der Hochschule vorhandene Geräte bzw. durch Kooperationen mit anderen wissenschaftlichen Einrichtungen abgedeckt werden kann. Dabei sind generell alle Fachbereiche zu berücksichtigen, da die eigentlichen EM in der Regel keinen fachspezifischen Betrieb voraussetzen. Gerätetechnische Besonderheiten für Proben aus den Lebens- und Materialwissenschaften stehen inzwischen nicht mehr primär im Vordergrund. Durch den Anstieg in der Komplexität der eigentlichen Proben und der zugrundeliegenden wissenschaftlichen Fragestellungen sind Unterschiede heutzutage nicht mehr klar voneinander abgrenzbar.

## 2. Zentrale Aufstellung

Core Facilitys (Gerätezentren) sind prädestiniert für den Betrieb von EM, insbesondere auch der höheren Leistungsklasse, wenn mehrere Arbeitsgruppen als Nutzer vorgesehen sind und Geräte für eine Reihe von verschiedenen analytischen Aufgaben und Anwendungen genutzt werden sollen. Davon unbenommen bleibt die ggf. notwendige fachspezifische Expertise in der Probenvorbereitung in den Arbeitsgruppen.

Der Betrieb von EM in (fachübergreifenden) Core Facilitys erleichtert es, im Zuge von technischen Entwicklungen erforderliche Geräteerneuerungen mit zu vollziehen und die entsprechenden fachlich-technischen Kompetenzen vorzuhalten. Solche Zentren können einen sehr effizienten Betrieb gewährleisten und Kapazitäten optimiert bereitstellen. EM-Zentren sollten nicht als reine Servicezentren betrieben werden, sondern eigene inhaltlich-wissenschaftliche Grundlagen und Ausrichtungen haben.

Core Facilitys sollten sowohl in Bezug auf die Zahl der Geräte als auch in personeller Hinsicht eine Mindestgröße aufweisen, um etwaigen personellen Engpässe (z.B. durch Urlaub, Krankheit etc.) bei technischem wie auch bei wissenschaftlichem Personal vorbeugen zu können. Bei der Einrichtung von hochschulinternen Gerätezentren ist zu berücksichtigen, dass nur mit unbefristeten Stellen für das technische und wissenschaftliche Personal ein langfristiges, kompetentes wissenschaftliches Serviceangebot auch über Technologiezyklen hinweg ermöglicht werden kann.

Für Geräte, die in Core Facilitys aufgestellt werden, muss grundsätzlich eine verbindliche Nutzungsordnung<sup>1</sup> erstellt werden. Diese ist als Antragsergänzung zusammen mit dem Antrag einzureichen.

---

<sup>1</sup> Merkblatt 55.04: [https://www.dfg.de/formulare/55\\_04/index.jsp](https://www.dfg.de/formulare/55_04/index.jsp)

### **3. Dezentraler Betrieb**

Der Betrieb von EM als Einzelgerät kann durch Spezialanwendungen oder projektspezifische Auslastungen gerechtfertigt sein. Für einen dezentralen Einsatz von Geräten sollten Anträge, neben der wissenschaftlichen Begründungen zu Notwendigkeit und Auslastung, im Rahmen des Betriebs- und Nutzungskonzepts unter Einbeziehung sämtlicher an der Methodik interessierten Gruppen der Hochschule verdeutlichen, warum man eine dezentrale Aufstellung favorisiert. Auch in diesem Fall sollte das Gerät anderen als den beantragenden Arbeitsgruppen zugänglich gemacht werden.

### **4. Auslastung**

EM können mit hohem Auslastungsgrad betrieben werden. Insbesondere für Geräte einer höheren Leistungsklasse (bei Kosten über 600.000 Euro) ist eine möglichst hohe Auslastung anzustreben, etwa durch Hochdurchsatz-Optionen, die beispielsweise einen automatisierten Betrieb über Nacht oder am Wochenende ermöglichen. Die verwendeten Kostenmodelle sollten diesen automatisierten Betrieb berücksichtigen. Bei der Abschätzung der Geräteauslastung ist zu berücksichtigen, dass je nach Anwendungsgebiet und Gerätetechnologie auch ausreichend Nutzungszeit für die Methodentwicklung benötigt wird und ein gewisser Anteil an Wartungs- und Einstellarbeiten einzuplanen ist. Bei der Beantragung eines EM zur Kapazitätserweiterung ist nachzuweisen, dass die vergleichbaren vorhandenen Geräte ausgelastet sind und deren Auslastungsgrad durch technische Aufrüstung nicht weiter erhöht werden kann.

Bei Anträgen auf Geräte einer für die Einrichtung noch nicht vorhandenen Leistungsklasse ist ebenfalls darauf zu achten, dass hinreichend viele Projekte zur Auslastung der Geräte akquiriert sind. Hierzu wird eine detaillierte Begründung unter Einbeziehung sämtlicher an der Methodik interessierten Gruppen der Hochschule erwartet.

### **5. Datenauswertung**

Eine wichtige Voraussetzung für den Betrieb von EM einer höheren Leistungsklasse ist nachweisbare Kompetenz in der Datenanalyse. Entsprechende personelle und technische Voraussetzungen sind im Antrag ausführlich darzulegen. Dabei sollte auch berücksichtigt werden, dass für viele Anwendungen Open Source-Lösungen zur Verfügung stehen.

Insbesondere bei der Planung von Projekten aber auch im weiteren Verlauf sollten Nutzer eine intensive Betreuung erfahren, die (bio)informatische und statistische Gesichtspunkte der Datenanalyse berücksichtigt. Des Weiteren sollte mit Hinblick auf die anwachsende Datenintensivität der Hoch- und Höchstleistungs-Elektronenmikroskopie eine Einbindung in das IT-Gesamtkonzept<sup>2</sup> der Hochschule für die technischen Voraussetzungen bezüglich Speicherung, Datenanalyse und Archivierung erarbeitet werden. Zentrale Ressourcen, welche die Daten und Rechenkapazitäten an einem Ort zur Verfügung stellen (und beispielsweise über Thin-Clients bzw. Software-Container-Virtualisierung den Zugang ermöglichen), sind lokalen Lösungen und einer Übertragung der Daten an einzelne Nutzer vorzuziehen.

### **6. Gesamtstrategie**

Eine veraltete Geräteausstattung kann einen negativen Einfluss auf die wissenschaftliche Konkurrenzfähigkeit einer wissenschaftlichen Einrichtung haben. Mithin ist die Wahl - und der Zeitpunkt der Anschaffung - einer bestimmten Technologie kritisch und wirkt sich auf die zu erwartende produktive

---

<sup>2</sup> Weitere Hinweise entnehmen Sie bitte auch der KfR-Stellungnahme „Informationsverarbeitung an Hochschulen 2016–2020“: [https://www.dfg.de/foerderung/programme/infrastruktur/wqi/hinweise\\_informationen/index.html](https://www.dfg.de/foerderung/programme/infrastruktur/wqi/hinweise_informationen/index.html)

Nutzungszeit aus. Eine zeitgemäße Geräteausstattung erfordert daher eine langfristige Gesamtstrategie, um Reinvestitionen entsprechend der Technologiezyklen durchführen und Wissenschaftlern dauerhaft einen State-of-the-Art Service zu konkurrenzfähigen Preisen anbieten zu können.

Angesichts der wissenschaftlichen wie finanziellen Bedeutung der Elektronenmikroskopie setzen Anträge für Investitionen ein Elektronenmikroskopie-Gesamtkonzept der antragstellenden Hochschule unter Einbeziehung aller Fachbereiche voraus. Dieses Konzept ist als Antragsergänzungen zusammen mit dem Antrag einzureichen. Sollte sich ein solches Konzept zum Zeitpunkt der Antragstellung noch in der Entwicklung befinden, wird eine Stellungnahme der Hochschulleitung erwartet, in der die geplanten Ziele und Maßnahmen skizziert und ein Zeitplan genannt werden. Das EM-Gesamtkonzept sollte möglichst in direktem Bezug zum IT-Gesamtkonzept<sup>2</sup> stehen (siehe 5.) und sowohl die Besonderheiten datenintensiver Methoden als auch die (Bio)Informatik einschließen.

Für die Erzielung optimierter Preis-Leistungsverhältnisse sollte das Elektronenmikroskopie-Gesamtkonzept von einer Antrags- und Beschaffungsplanung begleitet werden. EM-Einzelanträge für einen Hochschulstandort sollten möglichst – innerhalb eines für die Hochschule handhabbaren Zeitrahmens – gesammelt und gemeinsam eingereicht werden. Dadurch können Absprachen über Fachgrenzen hinweg, komplementäre Ausstattungen und die Finanzierung leistungsfähigerer Geräte durch verbesserte Rabattbedingungen (etwa in Paketangeboten) sichergestellt werden.

## 7. Gerätewahl

Die Wahl eines Gerätes bzw. einer speziellen Technologie sollten immer begleitet werden von entsprechenden Testmessungen und –versuchen mit eigenen Proben bei den Herstellern oder bei den Betreibenden entsprechender Geräte in der wissenschaftlichen Community. Dabei sollte die Diversität der getesteten Proben die Diversität der in einem Antrag geschilderten Anforderungen an ein Gerät widerspiegeln und die Ergebnisse sollten im Antrag widergegeben werden. Insbesondere bei sehr anspruchsvollen Proben und Technologien, sollten auch unterschiedliche Technologien miteinander verglichen werden. Beispielsweise legen Erfahrungsberichten mit Zweistrahlrasterelektronenmikroskopen (FIB-REM) in den Lebenswissenschaften nahe, dass diese Technologie nicht für alle Proben gleichermaßen für die Erfassung von Bildmaterial für eine 3D-Darstellung geeignet ist (FIB-Tomographie). Daher sollten hier nicht nur Testmessungen mit dem geplanten Probenmaterial in verschiedenen FIB-REM stattfinden, sondern auch ein direkter Vergleich mit anderen Varianten der EM, wie z.B. TEM Serial-Sections, sollte im Antrag durch entsprechende Abbildungen aufgezeigt und zur Begründung der Gerätewahl herangezogen werden. Des Weiteren sollte bei Geräten mit Komponenten verschiedener Hersteller darauf geachtet werden, dass eine gute Kommunikation der Hersteller untereinander und eine gemeinsame Problemlösung gegeben ist.

## 8. Weitere Hinweise

- I. Abnahme der Spezifikationen: Es ist zu beobachten, dass Upgrades bestehender Geräte bzw. neue Gerätetechnologien den Markt häufig in einem Zustand erreichen, in dem noch viele technische Probleme auftreten können, was erhöhte Ausfallzeiten und die Notwendigkeit für Wartungsverträge, d.h. höhere Kosten, zur Folge haben kann. Es sollte daher darauf geachtet werden, dass Geräte erst abgenommen werden, wenn alle Spezifikationen und Anforderungen zuverlässig erfüllt werden.
- II. Ausbildung und Lehre: Ältere EM bzw. EM mit einer niedrigeren Leistungsklasse als ein beantragtes oder bereits zur Verfügung stehendes Hochleistungs-EM (Screening Geräte) eignen sich zur Einbindung in ein Ausbildungs- und Lehrkonzept, um eine stufenweise Heranführung

an die Gerätebedienung zu ermöglichen. Auf diese Weise kann auch die eigenständige Nutzung von Höchstleistungs-Geräten erreicht werden (nötig angesichts des aktuellen Mangels an EM-Experten). Auch erscheint eine höhere Gewichtung der Planung von EM-Experimenten, der Probenvorbereitung und Datenanalyse bzw. Bioinformatik in der Lehre dringend nötig und sinnvoll.

- III. Bericht: In dem nach drei Jahren Betrieb fälligen Bericht zu Forschungsgroßgeräten sollte der Auslastungsgrad des Gerätes genannt werden. Von der Möglichkeit über Probleme bei Beschaffung, Betrieb oder Kostendeckung vertraulich zu berichten, sollte ausgiebig Gebrauch gemacht werden.
- IV. Korrelative Licht- und Elektronenmikroskopie (CLEM): Sollen beantragte EM in ihrer Spezifikation bzw. mit dem beantragten Zubehör für CLEM genutzt werden, muss im Antrag (Beiblatt Betriebs- und Nutzungskonzept und in den Beiblättern Forschung) explizit darauf eingegangen werden, welche Zielsetzung mit dieser Methode verfolgt wird. Dabei ist zu beachten, dass CLEM – so eine „wirkliche“ Korrelation zwischen lichtmikroskopischen und elektronenmikroskopischen Datensätzen gewünscht ist – auch entsprechende Anforderungen an eine höchstauflösende lichtmikroskopische Ausstattung (Stichwort: z.B. Photolokalisationsmikroskopie, STED, STORM, SIM und ggf. konfokale Mikroskopie) und vorhandene Expertise in ihrer Anwendung stellt. Dahingehend sollte die angestrebte technische Lösung auch Plattform-offen sein, so dass möglichst viele vorhandene Lichtmikroskope verschiedener Hersteller genutzt werden können. Im Unterschied dazu dienen Lichtmikroskope geringer Leistungsklassen oftmals „nur“ zu einer Identifikation interessanter Areale/Strukturen (Region of Interest, ROI), die dann elektronenmikroskopisch untersucht werden sollen. Dies könnte man im engeren Sinne auch als Probenvorbereitung klassifizieren und nicht als CLEM. Auch in diesem Fall muss in den Anträgen an Hand der am Standort vorhandenen Ausstattung begründet werden, warum gegebenenfalls ein solches Lichtmikroskop als Zubehör benötigt wird. Verweise darauf, dass es sich um eine technische Lösung eines Herstellers handelt und deshalb auch das Zubehör (Mikroskop) von diesem Hersteller bezogen werden muss/soll, sind dabei nicht ausreichend.
- V. Personelle Voraussetzungen: Abgesehen von den bereits erfolgten Hinweisen sollte bedacht werden, dass ein Multi-User-Betrieb bei Geräten mit einem komplexen Setup (dazu zählen auch FIB-REM) oftmals zu technischen und Software-Schwierigkeiten führen kann. Es sollte daher der wirkliche personelle Aufwand zum Gerätebetrieb unbedingt bedacht und vorab sichergestellt werden. Eine mangelnde Personalausstattung ist als nachträgliche Rechtfertigung für eine nicht-antragsgemäße Nutzung eines bewilligten Forschungsgroßgerätes nicht geeignet!
- VI. Räumliche Voraussetzungen: Es ist zu berücksichtigen, dass EM der neuesten Generation in allen Leistungsklassen eine deutlich höhere Sensibilität gegenüber Umwelteinflüssen aufweisen als ältere Geräte. Dem entsprechend muss bereits bei Antragstellung die Verfügbarkeit eines für den Gerätebetrieb geeigneten Raumes - unter anderem durch Schwingungs- und Störfeldanalysen des favorisierten Herstellers - nachgewiesen werden. Dies gilt explizit auch für Räume, in denen bereits ein älteres EM betrieben wird oder wurde. Bei der Raumplanung sollte auch berücksichtigt werden, dass oftmals gerätetechnische Upgrades eine Zunahme in der Gerätehöhe bewirken, d.h. eine in die Zukunft gerichtete großzügige Ausgestaltung der Deckenhöhe sollte favorisiert werden. In diesem Zusammenhang und auch mit Bezug auf ein EM-Gesamtkonzept sollte bei jedem Neubau an einer Hochschule geprüft werden, ob es nicht vorteilhaft wäre, Räume für die EM einzuplanen, auch wenn diese Geräte in keinem fachlichen Bezug zu dem eigentlichen Gebäudezweck stehen.

- VII. Wartung: Die Kosten für Wartungsverträge stellen einen erheblichen Anteil an den hohen Betriebskosten bei EM dar. Dabei sollte auch berücksichtigt werden, dass solche Wartungsverträge gegebenenfalls für eine prioritäre Reparatur von Schadensfällen bzw. der Versorgung mit Ersatzteilen notwendig sein könnten, insbesondere im Bereich der Höchstleistungsmikroskopie. In solchen Fällen bietet sich auch die Ausverhandlung von Garantieverlängerungen an. Diese Erweiterungen stellen allerdings keine Investitionsmaßnahme dar und können daher im Rahmen von FUGG nicht finanziert werden. Hier ist eine Zusage der Kostenübernahme durch die Hochschule und eine entsprechende preisliche Aufschlüsselung in den vorgelegten Angeboten notwendig.
- VIII. Zubehör: Es wird dringend empfohlen, benötigtes Zubehör für die Probenpräparation gemeinsam mit dem Hauptgerät zu beantragen. Eine angemessene Relation zwischen den Kosten für das Hauptgerät und dem Zubehör muss dabei aber gewahrt bleiben (siehe auch Merkblatt 21.1<sup>3</sup>). Bei einer späteren Beantragung von solchen Geräten mit Kosten über 200.000,- EUR im Programm Forschungsgroßgeräte, insbesondere von Geräten, die bereits zum Zeitpunkt der Beantragung des Hauptgerätes verfügbar waren, muss dieses Zubehör für sich genommen die Kriterien für ein Forschungsgroßgerät erfüllen, was in vielen Fällen problematisch sein kann. Außerdem wird das Vorhandensein bzw. die Zurverfügungstellung von notwendigen Geräten für die Probenpräparation von den Gutachtenden und den zuständigen DFG-Gremien als eine Bewilligungsvoraussetzung angesehen.

**Weitere Auskünfte erteilt:**

Dr. Gunter Merdes / Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Kennedyallee 40 / 53175 Bonn

Tel. +49 (228) 885-2476

[gunter.merdes@dfg.de](mailto:gunter.merdes@dfg.de)

[www.dfg.de](http://www.dfg.de)

---

<sup>3</sup> [https://www.dfg.de/foerderung/programme/infrastruktur/wgi/formulare\\_merkblaetter/index.jsp#anker3841799](https://www.dfg.de/foerderung/programme/infrastruktur/wgi/formulare_merkblaetter/index.jsp#anker3841799)