München, den 21. März 2000
HEC Note-064

Anleitung zur Montage der HEC Serienmodule

Horst Laskus und Hasko Stenzel

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht beschreibt die einzelnen Schritte der Modulmontage und die Tests zur Qualitätsicherung. Im Zusammenhang des gesamten Kalorimeterbaus werden die Produktionsschritte von der Prüfung der Eingangsmaterialien, über das Schichten der Kalorimeterabsorberplatten und Elektrodenstrukturen, bis zu den Ausgangstests vor dem Verschicken der Module zum CERN behandelt. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die durchzuführenden Qualitätsicherungstests gelegt, als Grundlage für die Erstellung von testbegleitenden technischen Prüfblättern.

1 Vorbereitende Arbeiten und Eingangstest der Materialien

Generell führen alle negativ ausfallenden Tests von fehlerhaften Rohmaterialien zur Zurücksendung bzw. Aussortierung der betroffenen Elemente. Die anliefernden Institute werden über die Anzahl der aussortierten Elemente informiert. Genaue Darstellungen der Test- und Montage-Einrichtungen sind den Konstruktionszeichnungen zu entnehmen.

1.1 Einrichten des Montagetisches

Der Montagetisch wird ausgerichtet und die drei Anschlagsäulen werden senkrecht montiert. Eine Cu Platte wird aufgelegt und die Plattenversatzmesssäule wird im Abstand von 6 mm zur Cu Platte vormontiert. Die Cu Platte wird zurückgelegt und die Plattenversatzmesssäule wird senkrecht ausgerichtet. Es wird eine Groundverbindung aller Tische für spätere Hochspannungstests hergestellt.

1.2 Positionierung der Abstandhalter

Die Aluminiumabstandhalter werden in der erwarteten Lage der Zugstangenendstücke aufgestellt.

1.3 Sichten der Kupferplatten

Die Kupferplatten werden vor dem Reinraum mit dem Hebekran aus der Transportkiste gehoben und beidseitig auf dem Kupferplattensichtplatz auf Grate, Riefen und Oberflächenbeschaffenheit überprüft. Bohrungen und Fräsungen werden auf Metallspäne untersucht. Die Gängigkeit der Gewinde für die Riegelverbindungen und die ausreichende Tiefe der Bohrungen in den Kupferplatten werden mit Schrauben M16/M8 getestet. Protokoll im Prüfblatt **Plattenmechanik**.

1.4 Staubreinigung der Kupferplatten

Die Platten werden ausserhalb des Reinraums mit einem Staubsauger von Staubresten gereinigt, eventuelle chemische Verunreinigungen werden entfernt. Protokoll im Prüfblatt **Plattenmechanik**.

1.5 Schichtungsreihenfolge

Die Plattenreihenfolge wird gemäß Montagezeichnung überprüft und die Platten werden gegebenenfalls sortiert.

1.6 Stichproben

Die erste, jede zehnte und die letzte Platte der Frontmodule (CF/AF) werden einer Stichprobenmessung unterzogen. Dabei werden die Plattendicke an den 7 Bohrungen und die maximale Durchbiegung über die Gesamtlänge gemessen. Dazu werden die Platten aufrecht im Hebegeschirr hängend mit einem Lineal verschraubt und Dickenplättchen in einen möglichen Spalt zwischen Platte und Lineal geführt. Protokoll im Prüfblatt **Plattenmechanik**.

1.7 Zugstangensichtung

Die Glattheit der polierten Zugstangenoberflächen wird geprüft, die Gängigkeit der Gewinde durch Aufdrehen der Mutter sichergestellt und die Gewinde auf Späne untersucht. Staub wird mit einem fusselfreien alkoholgetränkten Tuch entfernt. Die Dicke des Verdrehungsschutzes (Schlitzscheibe) und die Breite des Schlitzes wird geprüft. Protokoll im Prüfblatt **Zugstangen**.

1.8 Elektrodensichtung

Die EST- und Pad-boards werden auf mögliche Beschädigungen durch den Transport gesichtet, wobei insbesondere auf die Anschlüsse geachtet wird. Protokoll im Prüfblatt **EST bzw. PAD**.

1.9 EST Mechanik

Die Dimensionen der 7 Zugstangenausschnitte wird durch Auflegen der EST-boards auf die Eichvorrichtung geprüft. Die Aussenkonturen (Ausschnitte füer HV/Signal-Striplines, HV-Tabs) werden mit einer Referenzelektrode verglichen. Protokoll im Prüfblatt **EST**.

2 Montage des Kalorimetermoduls

2.1 Platteneinlegung im Gaptestplatz

Die erste Kupferplatte wird mit einer Kleberolle gereinigt und mit der Plattenhebevorrichtung in den Gaptestplatz eingelegt und die Spacer in Alkohol gereinigt und aufgelegt. Das Spacermaßwird notiert. Protokoll im Prüfblatt **GAP**.

2.2 Hexcel Durchschlagtest

Eine Hexcelmatte wird in den HV-Teststand eingelegt, die untere Elektrode wird auf Ground gelegt und an die obere Elektrode wird 2.5 kV angelegt. Kommt es zu einem Überschlag, so wird die Hexcelmatte verworfen. WICHTIG! NACH DEM TEST ENTLADEN DER ELEKTRODEN! Dieser Test wird für jeweils vier Matten einzeln durchgeführt, die zur Bildung des Gaps benötigt werden. Protokoll im Prüfblatt **Hexcel**.

2.3 Hexcel Strommessung

Es wird eine Spannung von 2.5 kV an die obere Elektrode des HV-Teststandes angelegt und der Leckstrom durch die Hexcelmatte gemessen. Überschreitet der Strom nach 5 Minuten 100(?) nA bei einer Luftfeuchtigkeit von 50%, so wird das Element verworfen. ENTLADEN! Dieser Test wird für jeweils vier Hexcelmatten einzeln durchgeführt. Die geprüften Hexcelmatten werden auf einer Ablage zwischengelagert. Protokoll im Prüfblatt **Hexcel**.

2.4 Hexcel im Gapteststand auflegen

Eine der geprüften Hexcelmatten wird auf die Kupferplatte im Gaptestplatz aufgelegt.

2.5 EST Durchschlagtest

EST2 wird in den HV-Teststand eingelegt. Die untere Elektrode wird auf Ground gelegt, an die obere Elektrode wird 2.5 kV angelegt. Die Anschlüsse am Board bleiben frei (floaten). WICHTIG! NACH DEM TEST ENTLADEN DER ELEKTRODEN ÜBER DIE ANSCHLÜSSE! Boards mit Durchschlag werden aussortiert. Protokoll im Prüfblatt **EST**.

2.6 EST Leckstrommessung

Es wird eine Spannung von 2.5 kV an die obere Elektrode des HV-Teststandes angelegt und der Leckstrom durch das EST2-board gemessen. Dadurch werden Verunreinigungen am Elektrodenrand getestet. Überschreitet der Strom nach 5 Minuten 100(?) nA, wird das Board verworfen. ENTLADEN! Protokoll im Prüfblatt **EST**.

2.7 EST Coronatest

Das EST2-board wird zwischen zwei vorbereitete Hexcelmatten gelegt. Die beiden Elektroden des HV-Teststandes werden auf Ground gelegt, 2.5 kV werden an beide Seiten des EST2-boards angelegt. Nach 5 Minuten wird der Leckstrom gemessen, der 200(?) nA nicht überschreiten darf. ENTLADEN! Protokoll im Prüfblatt **EST**.

2.8 EST2 im Gapteststand auflegen

Das geprüfte EST2-board wird auf die Hexcelmatte im Gapteststand aufgelegt und die HV/Ground Anschlüsse werden mit den zugehörigen Anschlüssen des Gapteststandes verbunden. Die zweite geprüfte Hexcelmatte wird aufgelegt.

2.9 Pad Durchschlagtest (Stichprobe)

Jedes 10. Pad-board wird in den HV-Teststand eingelegt. Die Pad-Anschlüsse werden auf Ground gelegt, die HV-Anschlüsse floaten, beide Elektroden werden auf 2.5 kV gelegt. NACH DEM TEST ENTLADEN DES ELEKTRODEN ÜBER DIE ANSCHLÜSSE! Boards mit Durchschlag werden aussortiert. Protokoll im Prüfblatt **PAD**.

2.10 Pad Coronatest (Stichprobe)

Jedes 10. Pad-board wird zwischen zwei vorbereitete Hexcelmatten gelegt. Die beiden Elektroden des HV-Teststandes werden auf Ground gelegt, die Pad-Anschlüsse werden auf Ground gelegt und auf beide HRC-Schichten des Boards werden 2.5 kV gelegt. Nach 5 Minuten wird der Leckstrom gemessen, der 200(?) nA nicht überschreiten darf. ENTLADEN! Protokoll im Prüfblatt **PAD**.

2.11 Pad-board im Gapteststand auflegen

Das Pad-board wird auf die zweite Hexcelmatte im Gapteststand eingelegt, die Pad-Anschlüsse werden mit Ground verbunden und die HV Anschlüsse der HRC-Schicht werden mit den HV-Anschlüssen des Gapteststandes verbunden. Die dritte geprüfte Hexcelmatte wird aufgelegt.

2.12 HV-tests EST1

Es werden die Testschritte 2.5 bis 2.7 mit dem EST1-board durchgeführt. Protokoll im Prüfblatt **EST**.

2.13 EST1 im Gapteststand auflegen

Das geprüfte EST1-board wird auf die Hexcelmatte im Gapteststand aufgelegt und die HV/Ground Anschlüsse werden mit den zugehörigen Anschlüssen des Gapteststandes verbunden. Die vierte geprüfte Hexcelmatte wird aufgelegt.

2.14 Aluminiumelektrode auflegen

Die Aluminiumelektrode wird auf die letzte Hexcelmatte gelegt und mit dem Ground des HV-Teststandes verbunden.

2.15 Gaptestvorbereitung

Der Deckel des Gapteststandes wird geschlossen, es wird auf ein Vakuum von 1 mbar gepumpt. Anschließend wird der Druckausgleich mit Trockenluft (3% Luftfeuchtigkeit) vorgenommen.

2.16 Gaptest

An die kontaktierten vier Hochspannungsanschlüsse (EST2, Pad2, Pad1 und EST1) werden jeweils 2.5 kV gegeben. Nach 5 Minuten wird der Leckstrom gemessen, der pro Kanal nicht mehr als 50(?) nA betragen darf. Nach der Messung werden die boards über die HV-Verteilung mit Kurzschlusssteckern entladen. Protokoll im Prüfblatt **GAP**.

2.17 Ausheben der vormontierten Einheit

Die Boards und die Aluminiumelektrode werden abgekabelt und die Kupferplatte mit der Gapstruktur mittels der Hebevorrichtung angehoben, unter gleichzeitigem Einführen der Kunststoffführungsbolzen. Die Aluminiumelektrode bleibt auf der letzten Hexcelmatte liegen. Die Vormontierte Einheit wird zum Montagetisch gebracht.

2.18 Zugstangenmontage [nur erstes Gap]

Die Zugstangen mit Führungsschutz werden in die am Kran hängende Kupferplatte eingeführt, wobei die Kunststofführungsbolzen entfernt werden. Die Zugstangen werden mit Sicherungsschrauben fixiert. Die Schritte 2.18 bis 2.20 werden am Kran hängend durchgeführt.

2.19 HV-Verteilungsmontage [nur erstes Gap]

Das HV-Verteilungsboard wird auf der Unterseite der ersten Kupferplatte (HEC1:Nr.25, HEC2:Nr.42) angebracht.

2.20 Kalibrationsboard [nur erstes Gap]

Das Kalibrationsverteilungsboard wird auf der Unterseite der Kupferplatte angebracht.

2.21 Auflegen der ersten vormontierten Einheit [nur erstes Gap]

Das Ensemble aus Kupferplatte und Gapstruktur sowie Aluminiumelektrode wird auf dem Montagetisch ausgerichtet und abgesetzt. Die Positionierung wird an den Anschlägen mit einem 0.1 mm Kaptonstreifen überprüft (Sollwert 0).

2.22 Vormontage der folgenden Einheiten

Die folgenden Gaps werden wie in den Schritten 2.1 bis 2.17 vormontiert und getestet.

2.23 Vorbereitung zum Auflegen vormontierter Einheiten

Die Aluminiumelektrode wird von der auf dem Montagetisch befindlichen Einheit gehoben und für den nächsten Gaptest bereit gestellt.

2.24 Gaphöhenkontrolle

Bevor eine neue vormontierte Einheit aufgelegt wird ist die Höhe der letzten gestapelten Gapstruktur in Bezug auf die Spacer zu Prüfen. Die Gesamthöhe der Gapstruktur darf die Höhe der Spacer an keiner der 7 Zugstangen überschreiten. Protokoll im Prüfblatt **GAP**. Das letzte gestapelte Gap wird an den 7 Zugstangen mit GFK Streifen (Innenkonus) fixiert.

2.25 Auflegen vormontierter Einheiten

Das Ensemble aus Kupferplatte und Gapstruktur sowie Aluminiumelektrode wird auf dem Montagetisch ausgerichtet und abgesetzt. Die Positionierung wird an den Anschlägen mit einem 0.1 mm Kaptonstreifen überprüft (Sollwert 0). Zur Überprüfung der Plattenausrichtung wird eine 12 mm Vierkantleiste in die vorhandenen Plattenfräsungen eingeschoben.

2.26 HV-Stapeltest

Es wird das vorletzte Gap getestet, auf dem bereits die letzte vormontierte Einheit liegt. Die HV-Anschlüsse der Aluminiumelektrode werden mit den Board-Anschlüssen EST1, PAD1, PAD2 und EST2 verbunden, die Ground Anschlüsse EST1 und EST2 sowie alle Pads werden auf den Ground der Aluminiumelektrode gelegt. Die Aluminiumelektrode wird mit dem Ground des Tisches verbunden. Es werden 2.0 kV angelegt und nach 30 Minuten der Strom in den vier Kanälen gemessen, der nicht mehr als 100(?) nA pro Kanal betragen darf. Anschliessend werden die Gaps mit Kurzschlusssteckern entladen und die Elektrodenverbindung abgekabelt. Protokoll im Prüfblatt **GAP**.

2.27 Stapeln der weiteren Einheiten

Alle weiteren Gaps werden nach den Schritten 2.22 bis 2.26 geschichtet.

2.28 Vorbereitung der Stapelhöhenmessung nach der 8. und 16. Platte

Nach der 8. Platte (Front + Rear) und nach der 16. Platte im Falle des Frontmoduls wird die Aluminiumelektrode abgenommen und Distanzrohre auf die Zugstangen geschoben. Die Distanzrohre sitzen auf den Spacern auf und sind am oberen Ende mit einem Abriebauffangteller versehen. Es werden Beilegscheiben eingelegt und die Muttern werden mit dem vorgeschriebenen Drehmoment (Front 22 Nm, Rear 40 Nm) angezogen.

2.29 Messung der Stapelhöhe

Die Stapelhöhe wird an 7 Referenzpunkten neben den Zugstangen gemessen und protokolliert. Ergibt sich ein Unterschied von mehr als $\pm$ 0.5 mm, so werden für die folgenden 8 Platten Spacer mit Über/Untermaß (8.45 mm / 8.55 mm) verwendet. Protokoll im Prüfblatt **Plattenhöhe**.

2.30 Auflegen der vorletzten Platte Nr. 27 [nur Rear]

Die vorletzte Kupferplatte Nr.27 wird ohne Gapstruktur aufgelegt und die Schlitzscheibe montiert.

2.31 Auflegen des letzten Gaps Nr. 25 [nur Rear]

Das letzte Gap Nr. 25 wird auf die Kupferplatte Nr. 27 geschichtet.

2.32 Anbringen der letzten Kupferplatte Nr. 26 [nur Rear]

Die letzte Kupferplatte wird aufgelegt und laut Zeichnung mit Edelstahlscheiben und Messing (MS) Muttern an den Zugstangen verschraubt und mit Drehmoment 40 Nm angezogen. Die Edelstahlteile (Spezialschrauben zur Befestigung des Hebeträgers) werden laut Zeichnung an den Zugstangen angebracht. Die Aluminiumelektrode wird direkt auf die Platte Nr. 26 gelegt.

2.33 Auflegen der vorvorletzten Platte Nr. 3 [nur Front]

Die vorvorletzte Kupferplatte Nr.3 wird ohne Gapstruktur aufgelegt und die Schlitzscheibe montiert.

2.34 Auflegen des vorletzten Gaps Nr. 2 [nur Front]

Das vorletzte Gap Nr. 2 wird auf die Kupferplatte Nr. 3 geschichtet.

2.35 Anbringen der vorletzten Kupferplatte Nr. 2 [nur Front]

Die vorletzte Kupferplatte Nr. 2 wird aufgelegt und laut Zeichnung mit Edelstahlscheiben und Ms Muttern an den Zugstangen verschraubt und mit Drehmoment 22 Nm angezogen.

2.36 HV-Stapeltest des Gaps Nr.2 [nur Front]

Das letzte Gap wird gemäß 2.26 getestet. Protokoll im Prüfblatt **GAP**.

2.37 Auflegen des letzten Gaps Nr. 1 [nur Front]

Das letzte Gap Nr. 1 wird auf die Kupferplatte Nr. 2 geschichtet.

2.38 Anbringen der letzten Kupferplatte Nr. 1 [nur Front]

Die letzte Kupferplatte Nr. 1 wird aufgelegt und laut Zeichnung mit Spezialschrauben für Hebevorrichtung verschraubt.

2.39 HV-Stapeltest des letzten Gaps

Das letzte Gap wird gemäß 2.26 getestet. Protokoll im Prüfblatt **GAP**.

3 Abschließende Arbeiten und Ausgangstests

3.1 Messung der Stapelhöhe

Die Ist-Stapelhöhe wird an den 7 Referenzpunkten gemessen, mit der Sollhöhe verglichen und protokolliert. Protokoll im Prüfblatt **Plattenhöhe**.

3.2 Demontage der Anschlagsäulen

Die vier Anschlagsäulen werden abgebaut.

3.3 Gewindefurchschrauben vorbereiten

Die Gewindefurchschrauben (vergoldet) werden in einer Vorrichtung mit Teflonspray eingesprüht (nur die Gewinde).

3.4 Montage der HV-Striplines

Die HV-Striplines werden angeschraubt und die Anschlüsse zu den Pad- und EST-boards hergestellt. Die HV-Kabel werden unter der ersten Cu Platte (Nr. 25 Front bzw. Nr. 42 Rear) bis zum Verteilerboard verlegt.

3.5 Messung des Widerstandes

Der Widerstand der HV-Segmente wird über die beiden am Verteilerboard zusammenlaufenden Kabel gemessen. Anschliessend werden die Kabel am Verteilerboard angesteckt. Protokoll im Prüfblatt **Widerstandsmessung**.

3.6 Montage der PSB-Trägerplatte

Die PSB-Trägerplatte wird auf der Breitseite des Moduls angeschraubt.

3.7 Signalverkabelung

Die Striplines mit Signalkabeln werden von der Spitzseite aus beginnend am Modul angebracht.

3.8 Kabibrationsverkabelung

Die Kalibrationskabel werden bis zur PSB-Trägerplatte verlegt.

3.9 Kapazitätsmessung der Signalkabel

Die Signalkabel werden über die Signaleingangstecker mit dem Kapazitätsmeßgerät verbunden und die Kapazität der Kabel wird gemessen.

3.10 Pad-Kontaktierung

Die Verbindung zwischen den Padanschlüssen und der Stripline wird hergestellt.

3.11 Test der Signalverkabelung

Es wird für jeden Auslesekanal die Kapazität der Pads mit der Verkabelung gemessen und mit den Einzelmessungen (Pad/Verkabelung) verglichen. Dadurch wird sichergestellt, daß alle Pads mit der Verkabelung kontaktiert sind.

3.12 Montage der Kaptonschürzen

Die Kaptonschürzen werden beidseitig am Modul angebracht.

3.13 Montage der PSB-board-dummies

Die PSB-board-dummies (Kurzschlusssteckerboards) werden auf der PSB-Trägerplatte angebracht. Für den HV-Langzeittest werden die Signaleingangssteckern mit den PSB-board-dummies verbunden.

3.14 Montage des äußeren Modulverbindungsriegels

Der Modulverbindungsriegel wird vom Wechelwirkungspunkt aus gesehen linksseitig an Zugstangenposition Nr. 6 laut Zeichnung Front und Rear angeschraubt. Die Gewinde der Verschraubungsbolzen werden mit Teflonspray eingesprüht.

3.15 HV Modultest

Zum HV-Test werden 1.5 kV auf die 8 Einspeisungen des Moduls gegeben und der Leckstrom nach 10 Minuten, 30 Minuten, 60 Minuten und 120 Minuten gemessen bei 50 % Luftfeuchtigkeit. Prüfblatt **HV-Modultest**.

3.16 Anbringen des Kippsicherungsbügels

An die Gewinde der Hebeträgerbefestigung und am Montagetisch wird der Kippsicherungsbügel angebracht. Anschliessend werden Schutzkappen auf die Gewinde der Hebeträgerbefestigung geschraubt.

3.17 Anbringen des inneren Staubschutzes und des Kunststoffzeltes

Das Modul wird zum Staubschutz an den offenen Seiten durch eine dünne Plastikhülle abgedeckt. Das Kunststoffzelt wird über dem Modul angebracht.

3.18 Verschieben des Moduls in die Langzeittestzone

Das Modul wird mit dem Montagetisch in die Langzeittestzone verschoben und mit Trockenluft geflutet. Eine Groundverbindung zum Montagetisch wird hergestellt.

3.19 HV-Langzeittest

Zum HV-Test werden 2 kV auf die 8 Einspeisungen des Moduls gegeben und der Leckstrom über zwei Wochen gemessen. Nach der Messung werden die Gaps am HV Eingang mit Kurzschlusssteckern entladen. Prüfblatt **HV-Langzeittest**.

3.20 Signaleingangstecker Transportsicherung

Die Kurzschlusssteckerboards werden entfernt und die Signaleingangsstecker mit Aluschienen zum Transport gesichert.

3.21 Ausfahren des Moduls

Das Modul wird aus dem Reinraum herausgefahren. Die Kippsicherungsbügel werden demontiert und das Modul wird mit dem Kran vom Montagetisch abgehoben.

3.22 Kabelarbeiten an der Modulunterseite

Die Kabelfixierungen werden an der Unterseite der ersten Platte angebracht, und die unterschiedlichen Längen der Kalibrationskabel werden aufgerollt, mit Abdeckplatten versehen und am Verteilerboard angesteckt.

3.23 Montage des Transportrahmens

Das Modul wird auf den Transportrahmen gestellt und mit diesem verschraubt.

3.24 Verpackung des Moduls

Eine starke Folie wird auf den Transportboden gelegt und mit Trockenmittel bestückt. Das Modul wird mit Transportrahmen am Boden verschraubt und die Folie an allen Seiten mit Klebeband befestigt. Gegebenenfalls wird der Hebeträger in der Transportkiste befestigt. Das Modul steht für den Transport zum CERN bereit.

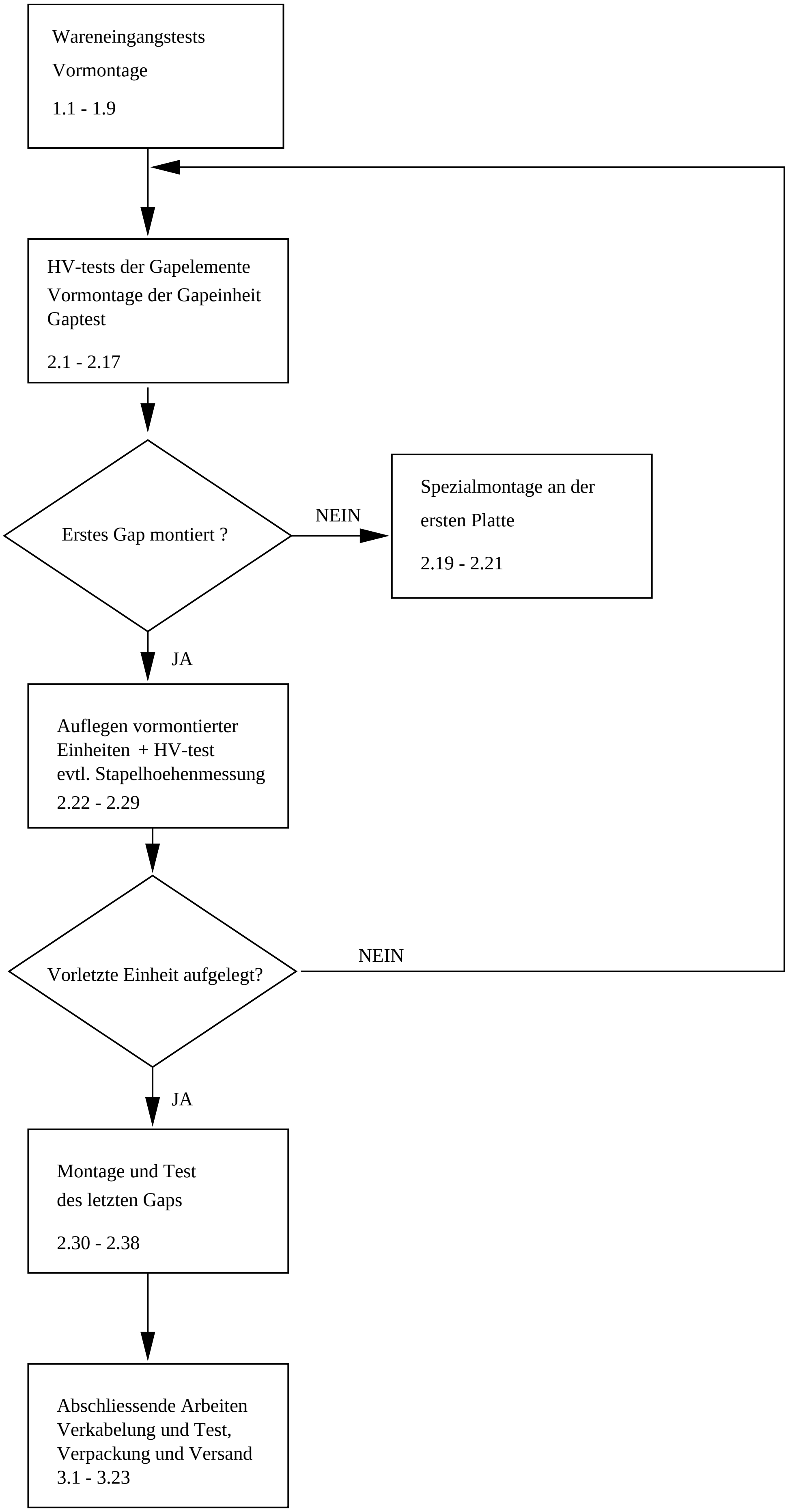

Abbildung 1: Schematisches Arbeitsflußdiagramm.