

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50324/2019  
(22) Anmeldetag: 10.04.2019  
(43) Veröffentlicht am: 15.10.2020

(51) Int. Cl.: **B07C 5/346** (2006.01)  
**G21F 9/30** (2006.01)  
**B07B 13/00** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
GB 982763 A  
GB 2017294 A  
GB 2419028 A  
US 4679738 A  
US 2015352598 A1  
CN 106994448 A

(71) Patentanmelder:  
Nuclear Engineering Seibersdorf GmbH  
2444 Seibersdorf (AT)

(72) Erfinder:  
Djuricic Mile Dipl.Ing.  
2483 Weigelsdorf (AT)  
Ernst Gerald Dipl.Ing.  
7093 Jois (AT)  
Lehmerhofer Gustav Dipl.Ing.  
3550 Langenlois (AT)  
Steininger Roland Dipl.Ing.  
1210 Wien (AT)

(74) Vertreter:  
Wildhack & Jellinek Patentanwälte OG  
1030 Wien (AT)

(54) **Verfahren zum Behandeln und Sortieren von potentiell mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Materialien**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Behandeln und Sortieren von potentiell mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Materialien (10),

- a) wobei unsortierte Materialien (10) auf einer Fördereinrichtung (1) gefördert werden,
- b) wobei einzelne Bereiche der unsortierten Materialien (10) im Zuge der Beförderung auf der Fördereinrichtung (1) in Hinblick auf zumindest eine Form von ionisierender Strahlung vermessen werden,
- c) wobei die so ermittelten Messwerte zwischengespeichert und demjenigen Bereich der geförderten Materialien (10) zugeordnet werden, der sich zum Aufnahmezeitpunkt im Messbereich des zumindest einen den Messwert ermittelnden Sensors (2; 21) befindet,
- d) wobei die geförderten Materialien (10) an einer Position der Fördereinrichtung (1), insbesondere an deren Ende, zumindest einer Selektionseinrichtung (3) zugeführt werden, die die bei ihr einlangenden geförderten Materialien (10) in Abhängigkeit von einem Auswahlsignal an einen von zumindest zwei Materialströmen weiterleitet,

e) wobei das jeweilige an die zumindest eine Selektionseinrichtung (3) weitergeleitete Auswahlsignal in Abhängigkeit von demjenigen Messwert oder denjenigen Messwerten ermittelt wird, der oder die dem im Bereich der Selektionseinrichtung (3) befindlichen Teil der Materialien (10) zugeordnet wurde.

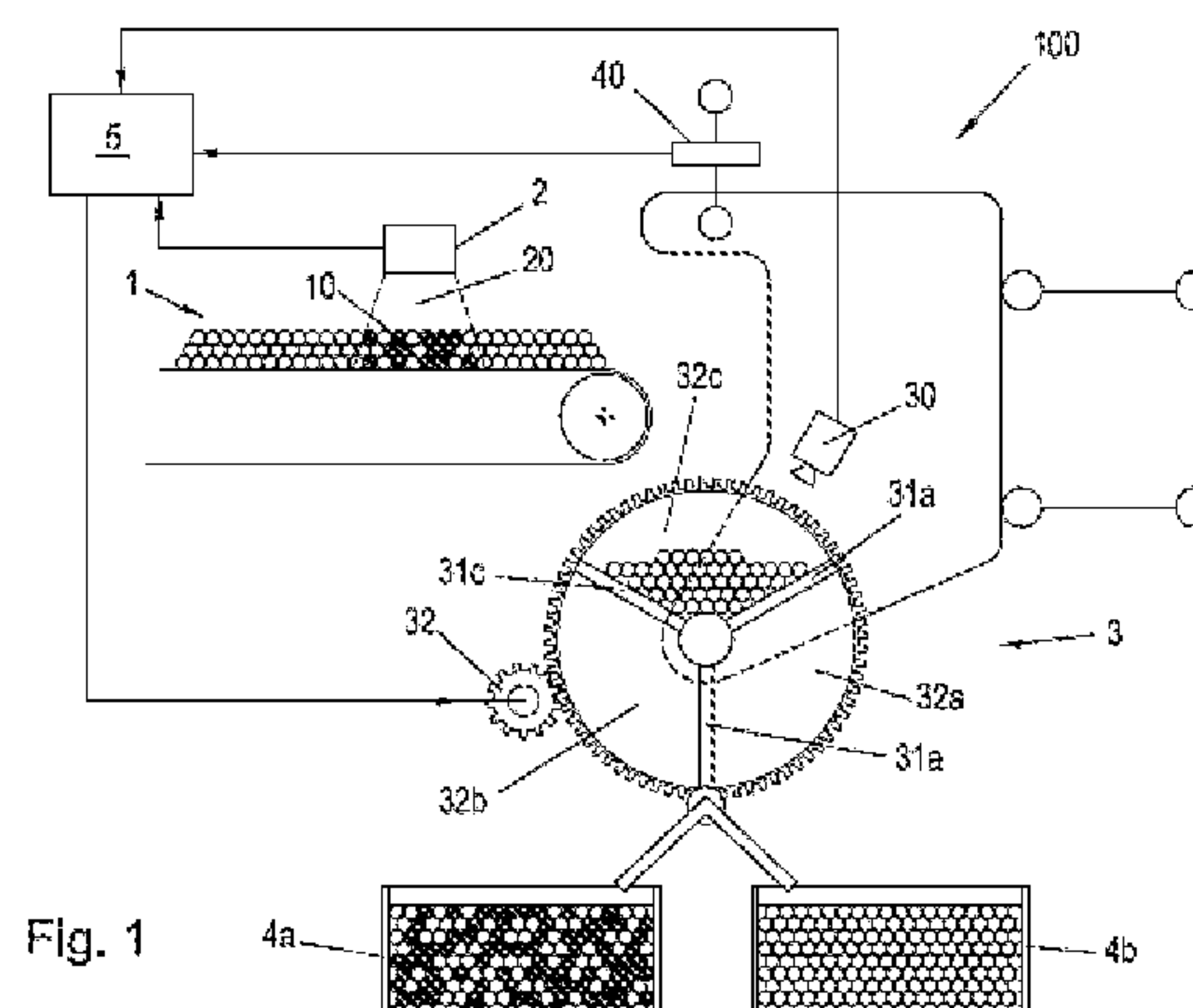


Fig. 1

## Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Behandeln und Sortieren von potentiell mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Materialien (10),

- a) wobei unsortierte Materialien (10) auf einer Fördereinrichtung (1) gefördert werden,
- b) wobei einzelne Bereiche der unsortierten Materialien (10) im Zuge der Beförderung auf der Fördereinrichtung (1) in Hinblick auf zumindest eine Form von ionisierender Strahlung vermessen werden,
- c) wobei die so ermittelten Messwerte zwischengespeichert und demjenigen Bereich der geförderten Materialien (10) zugeordnet werden, der sich zum Aufnahmezeitpunkt im Messbereich des zumindest einen den Messwert ermittelnden Sensors (2; 21) befindet,
- d) wobei die geförderten Materialien (10) an einer Position der Fördereinrichtung (1), insbesondere an deren Ende, zumindest einer Selektionseinrichtung (3) zugeführt werden, die die bei ihr einlangenden geförderten Materialien (10) in Abhängigkeit von einem Auswahlsignal an einen von zumindest zwei Materialströmen weiterleitet,
- e) wobei das jeweilige an die zumindest eine Selektionseinrichtung (3) weitergeleitete Auswahlsignal in Abhängigkeit von demjenigen Messwert oder denjenigen Messwerten ermittelt wird, der oder die dem im Bereich der Selektionseinrichtung (3) befindlichen Teil der Materialien (10) zugeordnet wurde.

Fig. 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Behandeln und Sortieren von potentiell mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Materialien gemäß Patentanspruch 1 sowie eine Förderanlage gemäß Patentanspruch 17.

Aus dem Stand der Technik ist eine Vielzahl von Sortierverfahren bekannt, mit denen unterschiedliche Materialien auf einfache Weise beispielsweise aufgrund deren Korngröße getrennt werden können. Bei potentiell mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Materialien ist es problematisch und mit großem Aufwand verbunden, das auf einer Fördereinrichtung geförderte Material einer Selektion zu unterziehen, sodass Materialien, die kontaminiert sind, zuverlässig von den Materialien, die keine Kontamination aufweisen, getrennt und gegebenenfalls in unterschiedliche Behälter gefördert werden.

Dabei ist es grundsätzlich wünschenswert, dass nicht kontaminierte Materialien nicht mit kontaminierten Materialien vermischt werden, da die nicht kontaminierten Materialien beispielsweise deponiert oder auf sonstige Weise in die Umwelt verbracht werden sollen. Deshalb soll eine Vermischung von kontaminationsfreien Materialien mit kontaminierten Materialien verhindert werden. Ebenso soll vermieden werden, dass allzu große Mengen von nicht kontaminierten Materialien zu den kontaminierten Materialien gelangen, da dies die Menge an aufwändig zu entsorgenden oder zwischenzulagernden Stoffen erhöht und dadurch die Entsorgungs- und/oder Lagerkosten wesentlich steigen würden.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren zum Sortieren von potentiell mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Materialien bereitzustellen, das eine zuverlässige Trennung zwischen kontaminierten und nicht kontaminierten Materialien gewährleistet.

Die Erfindung löst diese Aufgabe mit einem Verfahren zum Behandeln und Sortieren von potentiell mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Materialien gemäß Patentanspruch 1. Erfindungsgemäß ist dabei vorgesehen, dass

- a) wobei unsortierte Materialien auf einer Fördereinrichtung gefördert werden,
- b) wobei einzelne Bereiche der unsortierten Materialien im Zuge der Beförderung auf der Fördereinrichtung in Hinblick auf zumindest eine Form von ionisierender Strahlung vermessen werden,
- c) wobei die so ermittelten Messwerte zwischengespeichert und demjenigen Bereich der geförderten Materialien zugeordnet werden, der sich zum Aufnahmezeitpunkt im Messbereich des zumindest einen den Messwert ermittelnden Sensors befindet,

- d) wobei die geförderten Materialien an einer Position der Fördereinrichtung, insbesondere an dessen Ende, zumindest einer Selektionseinrichtung zugeführt werden, die die bei ihr einlangenden geförderten Materialien in Abhängigkeit von einem Auswahlsignal an einen von zumindest zwei Materialströmen weiterleitet,
- e) wobei das jeweilige an die zumindest eine Selektionseinrichtung weitergeleitete Auswahlsignal in Abhängigkeit von demjenigen Messwert oder denjenigen Messwerten ermittelt wird, der oder die dem im Bereich der Selektionseinrichtung befindlichen Teil der Materialien zugeordnet wurde.

Ein derartiges Verfahren ermöglicht vorteilhafterweise eine zuverlässige Trennung zwischen mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Materialien und nicht kontaminierten Materialien auf Grundlage der Messwerte, die bezüglich zumindest einer Art von ionisierender Strahlung, beispielsweise Beta- oder Gammastrahlung, ermittelt wurden. Die Selektionseinrichtung stellt dabei vorteilhafterweise sicher, dass die Materialien aufgrund der ihnen jeweils zugeordneten Messwerte einem Materialstrom zugeordnet werden, sodass kontaminierte und nicht kontaminierte Materialien getrennt voneinander beispielsweise in verschiedene Behälter gefördert werden.

Bei Änderung des Auswahlsignals führt die Selektionseinrichtung vorteilhafterweise das bereits zuvor in die Selektionseinrichtung geförderte Material dem entsprechenden Materialstrom zu, um eine zuverlässige Trennung zwischen mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Materialien und nicht kontaminierten Materialien zu gewährleisten.

Ein derartiges Verfahren ermöglicht somit, dass die Materialien nicht nur in fix vorgegebenen Mengeneinheiten (Batchgrößen) bewertet und sortiert werden können, sondern dass die Anlage vorteilhafterweise bei Änderungen im Material die Zuordnung zu den Materialströmen zu einem beliebigen Zeitpunkt durch Änderung des Auswahlsignals anpassen kann.

Ein besonderes zuverlässiges Auswahlsignal kann bereitgestellt werden, wenn die einzelnen ermittelten Messwerte einem digitalen Filter zugeführt werden,

wobei insbesondere vorgesehen ist, dass die einzelnen Messwerte gewichtet und/oder summiert werden und/oder dass unter den einzelnen Messwerten ein Maximalwert ermittelt wird, und

dass das derartige durch Filterung ermittelte gefilterte Messwertsignal zur Bildung des Auswahlsignals herangezogen wird.

Um eine besonders exakte Trennung von kontaminierten und nicht kontaminierten Materialien sicherzustellen, kann vorgesehen sein, dass für die Bildung des Auswahlsignals Messwerte herangezogen werden, die eine vorgegebene Zeitspanne zuvor aufgenommen wurden, wobei diese Zeitspanne insbesondere der Zeit entspricht, die die Beförderung der Materialien vom Aufnahmebereich des zumindest einen Sensors bis zur Position der Selektionseinrichtung auf der Fördereinrichtung entspricht.

Eine besonders kleinteilige Untersuchung der unsortierten, potentiell mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Materialien, kann erzielt werden, wenn Messungen mit einer Vielzahl von gleichartigen Sensoren vorgenommen werden, wobei der Aufnahmebereich jedes der Sensoren jeweils nur einen Teilbereich der Breite der Fördereinrichtung abdeckt,

dass eine Selektion mit einer Vielzahl von separaten Selektionseinrichtungen vorgenommen wird, wobei jede Selektionseinrichtung jeweils einem der Sensoren zugeordnet ist und die einander zugeordneten Selektionseinrichtungen und Sensoren jeweils denselben Teilbereich der Breite der Fördereinrichtung abdecken, und

dass die Bildung der einzelnen Auswahlsignale für die Selektionseinrichtungen jeweils aufgrund der zwischengespeicherten Messwerte des jeweiligen der Selektionseinrichtung zugeordneten Sensors vorgenommen wird.

Eine besonders zuverlässige Sortierung von potentiell mit radioaktiven Stoffen, die unterschiedliche Arten von radioaktiver Strahlung abgeben, kontaminierten Materialien kann erzielt werden, wenn für die oder für jede Selektionseinrichtung eine Mehrzahl von in Transportrichtung hintereinander befindlichen, für unterschiedliche Strahlungsarten und/oder Energiebereiche sensitiven Sensoren vorgesehen ist, die jeweils Messwerte in Bezug auf Bereiche der geförderten Materialien ermitteln, die jeweils zu einer Selektionseinrichtung gelangen, und

wobei die einzelnen Messwerte, die jeweils demselben Bereich von geförderten Materialien zugeordnet sind, gemeinsam abgespeichert und für die Bildung des Auswahlsignals für die Betätigung der jeweiligen Selektionseinrichtung verwendet werden.

Eine besonders zuverlässige Sortierung potentiell kontaminierter Materialien auf Grundlage der Messwerte unterschiedlicher Sensoren kann gewährleistet werden, indem für die Bildung des Auswahlsignals Messwerte unterschiedlicher, für unterschiedliche Strahlungsarten und/oder Energiebereiche sensitiver Sensoren herangezogen werden, die jeweils unterschiedliche vorgegebene Zeitspannen zuvor aufgenommen wurden, wobei diese Zeitspannen insbesondere derjenigen Zeit entsprechen, die die Beförderung

der Materialien vom Aufnahmebereich des jeweiligen Sensors bis zur Position der Selektionseinrichtung auf der Fördereinrichtung entsprechen.

Eine weitere Verbesserung der Sortierung bzw. Trennung zwischen kontaminierten und nicht kontaminierten Materialien kann erzielt werden, wenn ein Mittelwert, insbesondere ein gleitender Mittelwert, oder ein Maximalwert auf Grundlage der in einem vorgegebenen zeitlichen Intervall, das dem Zeitpunkt vorangeht, an dem sich die Materialien an der Position der Selektionseinrichtung auf der Fördereinrichtung befinden, aufgenommenen Messwerte der Sensoren ermittelt wird und als Auswahlsignal für die Weiterleitung der geförderten Materialien herangezogen wird.

Eine besonders zuverlässige Abtrennung von Materialien, die mit radioaktiven Stoffen kontaminiert sind, die Gammastrahlung abgeben, kann gewährleistet werden, wenn als Messwert die Ergebnisse einer Gamma-Spektralmessung für eine Anzahl von unterschiedlichen Teilchenenergien herangezogen werden, wobei insbesondere bei der Erstellung des Selektionssignals eine gewichtete Summe der einzelnen Spektralmesswerte des Gammaskpektrums verwendet wird, wobei vorzugsweise einzelne Bereiche des Gammaskpektrums, die bestimmten interessierenden radioaktiven Stoffen zugeordnet sind, höher gewichtet werden als die übrigen Bereiche.

Eine besonders zuverlässige Abtrennung von Materialien, die Betastrahler beinhalten, kann erzielt werden, wenn als Messwert die Betastrahlungsintensität herangezogen wird.

Im Fall, dass mehrere gleichartige Sensoren nebeneinander und/oder in Transportrichtung hintereinander angeordnet auf die Fördereinrichtung gerichtet sind, kann eine zuverlässige Korrektur der Messwerte hinsichtlich des Einflusses von Quereinstrahlung bereitgestellt werden, wenn der Aufnahmebereich jedes der Sensoren jeweils nur einen Teilbereich der Breite der Fördereinrichtung abdeckt, und dass ein korrigierter Messwert ermittelt wird, indem vom jeweils ermittelten Messwert eines Fördereinrichtungs-Teilbereichs die Messwerte zeitlich oder örtlich benachbarter Fördereinrichtungs-Teilbereiche in gewichteter Form abgezogen werden.

Eine besonders zuverlässige Korrektur von Gamma-Messwerten hinsichtlich des Einflusses von Quereinstrahlung kann gewährleistet werden, wenn ein korrigierter Gamma-Messwert ermittelt wird und wenn im Rahmen der Korrektur eine energieabhängige Gewichtung der benachbarten Gamma-Messwerte vorgenommen wird,

insbesondere wenn höherenergetische Anteile der Gamma-Messwerte beim Abzug stärker gewichtet werden als niederenergetische Anteile der Gamma-Messwerte.

Eine besonders zuverlässige Abschätzung der auf reine Betastrahler zurückzuführenden Strahlung kann gewährleistet werden, wenn ein Vergleich der einzelnen Gamma-Messwerte, insbesondere der Ergebnisse der Gamma-Spektralmessung, für eine Anzahl von unterschiedlichen Teilchenenergien mit den Betastrahlungs-Messwerten, die jeweils in Bezug auf denselben Bereich oder Teilbereich der geförderten Materialien ermittelt wurden, durchgeführt wird, wobei derart die Gegenwart von reinen Betastrahlern ermittelt und die Aktivität der reinen Betastrahler abgeschätzt wird.

Ein Maßwert für die Gesamtkontamination der kontaminierten Materialien, die jeweils in einen Behälter gefördert wurden, kann bereitgestellt werden, wenn die einzelnen Messwerte, für die dasselbe Auswahlsignal ermittelt wurde und die in Bezug auf Materialien aufgenommen wurden, die demselben Materialstrom zugeordnet wurden, akkumuliert werden,

wobei insbesondere vorgesehen ist, dass eine Akkumulation aller Gamma-Messwerte oder Betastrahlungs-Messwerte vorgenommen wird, die demselben Behälter zugeführt werden.

Ein Maßwert für die Kontamination mit einzelnen radioaktiven Stoffen von Interesse, die in den Materialien, die in einem Behälter gefördert wurden, vorhanden sind, kann bereitgestellt werden, wenn die für die jeweils in denselben Behälter geförderten Materialien ermittelten Messwerte, insbesondere die Ergebnisse der Gamma-Spektralmessung für eine Anzahl von unterschiedlichen Teilchenenergien, akkumuliert werden, wobei eine massenspezifische Messgröße für jeden Behälter ermittelt wird, und wobei ein akkumulierter Messwert, insbesondere die spezifische Aktivität, bestimmter interessierender radioaktiver Nuklide für den jeweiligen Behälter abgeleitet wird.

Ein weitere Verbesserung der Sortierung potentiell mit radioaktiven Stoffen kontaminierter Materialien kann erzielt werden, wenn in einem ersten Sortierdurchlauf als kontaminiert und/oder unkontaminiert erkannt und von der zumindest einen Selektionseinrichtung an einen diesbezüglichen Materialstrom weitergeleiteten Materialien in zumindest einem erneuten Sortierdurchlauf auf der Fördereinrichtung gefördert und in Hinblick auf zumindest eine Form von ionisierender Strahlung vermessen werden,

wobei jeweils erneut ein Auswahlsignal für die jeweilige Selektionseinrichtung in Abhängigkeit von demjenigen Messwert oder denjenigen Messwerten ermittelt wird, der

oder die dem im Bereich der Selektionseinrichtung befindlichen Teil der Materialien zugeordnet wurde.

Eine besonders kleinteilige Sortierung der potentiell mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Materialien kann erzielt werden, wenn die Erstellung des Auswahlsignals und die Weiterleitung der geförderten Materialien an einen der zumindest zwei Materialströme in Abhängigkeit vom Auswahlsignal kontinuierlich erfolgt.

Eine besonders rasche Sortierung größerer Mengen von potentiell mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Materialien kann erzielt werden, wenn die Erstellung des Auswahlsignals und die Weiterleitung der geförderten Materialien an einen der zumindest zwei Materialströme in Abhängigkeit vom Auswahlsignal diskontinuierlich für vorgegebene Mengeneinheiten, insbesondere batchweise, erfolgt.

Die Erfindung betrifft weiters eine Förderanlage zum Behandeln und Sortieren von potentiell mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Materialien, insbesondere zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens, umfassend

- eine, insbesondere kontinuierlich laufende, Fördereinrichtung zum Befördern von unsortierten Materialien,
- zumindest einen Sensor, der auf die Fördereinrichtung gerichtet ist und dazu ausgebildet ist, einzelne Bereiche der unsortierten Materialien im Zuge der Beförderung auf der Fördereinrichtung in Hinblick auf zumindest eine Form von ionisierender Strahlung zu vermessen,
- zumindest eine Selektionseinrichtung, der die geförderten Materialien an einer Position der Fördereinrichtung, insbesondere an deren Ende, zugeführt werden, wobei die Selektionseinrichtung dazu ausgebildet ist, die bei ihr einlangenden geförderten Materialien in Abhängigkeit von einem Auswahlsignal an einen von zumindest zwei Materialströmen weiterzuleiten und
- eine dem zumindest einen Sensor nachgeschaltete und mit der zumindest einen Selektionseinrichtung verbundene Steuer- und Verarbeitungseinheit, wobei die Steuer- und Verarbeitungseinheit dazu ausgebildet ist,
  - die von dem zumindest einen Sensor ermittelten Messwerte zwischenzuspeichern und demjenigen Bereich der geförderten Materialien zuzuordnen, der sich zum Aufnahmezeitpunkt im Messbereich des den Messwert ermittelnden Sensors befindet,

- ein Auswahlsignal in Abhängigkeit von demjenigen Messwert oder denjenigen Messwerten zu ermitteln, der oder die dem im Bereich der Selektionseinrichtung befindlichen Teil der Materialien zugeordnet wurde, und
- das jeweilige Auswahlsignal an die zumindest eine Selektionseinrichtung weiterzuleiten.

Bei Änderung des Auswahlsignals führt die Selektionseinrichtung vorteilhafterweise das bereits zuvor in die Selektionseinrichtung geförderte Material dem entsprechenden Materialstrom zu, um eine zuverlässige Trennung zwischen mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Materialien und nicht kontaminierten Materialien zu gewährleisten. Auf diese Weise können die Materialien nicht nur in fix vorgegebenen Mengeneinheiten, d.h. Batchgrößen, bewertet und sortiert werden, sondern können vorteilhafterweise zu einem beliebigen Zeitpunkt bei Änderung der Messwerte der Materialien dem entsprechenden Materialstrom durch Änderung des Auswahlsignals zugeordnet werden.

Eine derartig ausgestaltete Förderanlage ermöglicht vorteilhafterweise eine zuverlässige Trennung zwischen mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Materialien und nicht kontaminierten Materialien, da das Auswahlsignal für die Selektionseinrichtung von der Steuer- und Verarbeitungseinheit auf Grundlage der Messwerte, die vom zumindest einen Sensor bezüglich zumindest einer Art von ionisierender Strahlung, beispielsweise Beta- oder Gammastrahlung, gemessen wurden, erstellt wird. Die Steuer- und Verarbeitungseinheit steuert die Selektionseinrichtung entsprechend dem Auswahlsignal an, sodass vorteilhafterweise sichergestellt ist, dass die Materialien aufgrund der ihnen jeweils zugeordneten Messwerte einem entsprechenden Materialstrom zugeordnet werden, und derart kontaminierte und nicht kontaminierte Materialien getrennt voneinander beispielsweise in verschiedene Behälter gefördert werden.

Eine besonders kleinteilige Untersuchung der unsortierten, potentiell mit radioaktiven Stoffen kontaminierten, Materialien kann erzielt werden,

- wenn die Förderanlage eine Vielzahl von gleichartigen Sensoren umfasst, wobei der Aufnahmebereich jedes der Sensoren jeweils nur einen Teilbereich der Breite der Fördereinrichtung abdeckt,
- wenn eine Vielzahl von separaten Selektionseinrichtungen vorgesehen ist, wobei jede Selektionseinrichtung jeweils einem der Sensoren zugeordnet ist und die einander zugeordneten Selektionseinrichtungen und Sensoren jeweils denselben Teilbereich der Breite der Fördereinrichtung abdecken, und

- wenn die Steuer- und Verarbeitungseinheit dazu ausgebildet ist, die einzelnen Auswahlsignale für die Selektionseinrichtungen jeweils aufgrund der zwischengespeicherten Messwerte des jeweiligen der Selektionseinrichtung zugeordneten Sensors zu ermitteln.

Eine besonders zuverlässige Sortierung von potentiell mit radioaktiven Stoffen, die unterschiedliche Arten von radioaktiver Strahlung abgebenden, kontaminierten Materialien kann erzielt werden, wenn die Förderanlage für die oder für jede Selektionseinrichtung eine Mehrzahl von in Transportrichtung hintereinander befindlichen, für unterschiedliche Strahlungsarten und/oder Energiebereiche sensitiven Sensoren umfasst, wobei die Sensoren jeweils dazu ausgebildet sind, Messwerte in Bezug auf Bereiche der geförderten Materialien zu ermitteln, die jeweils zu einer Selektionseinrichtung gelangen, und

wenn die Steuer- und Verarbeitungseinheit dazu ausgebildet ist, die einzelnen Messwerte, die jeweils demselben Bereich von geförderten Materialien zugeordnet sind, gemeinsam abzuspeichern und bei der Bildung des Auswahlsignals für die Betätigung der jeweiligen Selektionseinrichtung heranzuziehen.

Ein besonders zuverlässige Trennung von mit radioaktiven Nukliden kontaminierten und nicht kontaminierten Materialien kann bereitgestellt werden, wenn die Steuer- und Verarbeitungseinheit dazu ausgebildet ist, ein Auswahlsignal nach einem erfindungsgemäßen Verfahren und/oder einen Messwert nach einem erfindungsgemäßen Verfahren zu ermitteln.

Eine besonders kleinteilige Sortierung der potentiell mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Materialien kann erzielt werden, wenn die Steuer- und Verarbeitungseinheit dazu ausgebildet ist, das Auswahlsignal kontinuierlich zu erstellen und die zumindest eine Selektionseinrichtung dazu ausgebildet ist, die geförderten Materialien kontinuierlich an einen der zumindest zwei Materialströme in Abhängigkeit vom Auswahlsignal weiterzuleiten.

Eine besonders rasche Sortierung größerer Mengen von potentiell mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Materialien kann erzielt werden, wenn die Steuer- und Verarbeitungseinheit dazu ausgebildet ist, das Auswahlsignal diskontinuierlich für vorgegebene Mengeneinheiten, insbesondere batchweise, zu erstellen und die zumindest eine Selektionseinrichtung dazu ausgebildet ist, die geförderten Materialien

diskontinuierlich in vorgegebenen Mengeneinheiten, insbesondere batchweise, an einen der zumindest zwei Materialströme in Abhängigkeit vom Auswahlsignal weiterzuleiten.

Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und den beiliegenden Zeichnungen.

Die Erfindung ist im Folgenden anhand von besonders vorteilhaften, aber nicht einschränkend zu verstehenden Ausführungsbeispielen in den Zeichnungen schematisch dargestellt und wird unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beispielhaft beschrieben.

Im Folgenden zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Förderanlage zur Durchführung eines ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 2 einen Ausschnitt einer Förderanlage gemäß Fig. 1 mit einem Sensor,

Fig. 3 einen Ausschnitt einer Förderanlage gemäß Fig. 1 mit mehreren Sensoren,

Fig. 4 ein erstes Auswertungsbeispiel,

Fig. 5 eine schematische Darstellung des Einflusses von Quereinstrahlung auf die Messwerte einzelner Sensoren,

Fig. 6 ein zweites Auswertungsbeispiel mit Berücksichtigung der Quereinstrahlung.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Förderanlage 100 zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens. Wie in Fig. 1 ersichtlich ist, umfasst die Förderanlage 100 eine Fördereinrichtung 1, beispielsweise ein Förderband, auf dem potentiell mit radioaktiven Stoffen kontaminierte Materialien 10 gefördert werden. Bei den potentiell kontaminierten Materialien 10 kann es sich beispielsweise um Schüttgut wie Lockergesteinsmaterial verschiedener Korngrößen, aber auch um potentiell kontaminierten Abfall handeln.

Am Ende der Fördereinrichtung 1 gelangen die zu sortierenden, potentiell kontaminierten, Materialien 10 in eine Selektionseinrichtung 3. Bei einer derartigen Selektionseinrichtung 3 kann es sich beispielsweise um eine drehbar gelagerte Trommel handeln, die von der Trommelachse radial abstehende Wandungen 31a, 31b, 31c aufweist, sodass dadurch Bechersegmente 32a, 32b, 32c ausgebildet sind. Von der Fördereinrichtung 1 herabfallende Materialien 10 gelangen in diese Bechersegmente 32a, 32b, 32c und werden in unterschiedliche Behälter 4a, 4b, beispielsweise Fässer, befördert.

Dazu weist die Selektionseinrichtung 3 eine Antriebseinheit 32 auf, die die Selektionseinrichtung 3 und somit die Bechersegmente 32a, 32b, 32c der Selektionseinrichtung 3 um jeweils einen Bogenabschnitt von beispielsweise 120° weiter dreht und die Materialien 10 abhängig von der Drehrichtung der Selektionseinrichtung 3 in unterschiedliche Behälter 4a, 4b gefördert werden.

Zum Sortieren der potentiell mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Materialien 10 werden die unsortierten Materialien 10 zunächst auf die Fördereinrichtung 1 gebracht, verteilt und auf der Fördereinrichtung 1 bzw. dem Förderband unter zumindest einem Sensor 2 hindurch gefördert. Soll eine besonders gleichmäßige Verteilung der unsortierten Materialien 10 erzielt werden, kann die Förderanlage 100 optional z.B. einen Rechen umfassen, der eine möglichst gleichmäßige Belegung der Fördereinrichtung 1 sicherstellt. Optional kann die Förderanlage 100 beispielsweise eine optische Bandwaage umfassen, um diese Belegung der Fördereinrichtung 1 zu überprüfen, eine Aussage über die Schüttdicke zu ermöglichen und eine mangelnde Belegung frühzeitig zu detektieren.

Im Zuge der Beförderung werden einzelne Bereiche der unsortierten Materialien 10 hinsichtlich zumindest einer Form von ionisierender Strahlung vermessen. Dabei sind bezüglich des Sensoraufbaus verschiedenste Varianten möglich. In einem ersten, einfachen Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens, kommt eine Förderanlage 100 mit nur einem Sensor 2 für ionisierende Strahlung zum Einsatz, wie sie in Fig. 2 schematisch dargestellt ist. Der Sensor 2 ist in Fig. 2 normal zur Transportrichtung T der Fördereinrichtung 1 angeordnet und sein Messbereich erstreckt über die gesamte Breite der Fördereinrichtung 1.

Der Sensor 2 steht mit einer Steuer- und Verarbeitungseinheit 5 in Datenkommunikation, und die vom Sensor 2 ermittelten Messwerte werden in einem Speicher 51 der Steuer- und Verarbeitungseinheit 5 zwischengespeichert. Dabei werden die Messwerte demjenigen Bereich der geförderten Materialien 10 zugeordnet, der sich zum jeweiligen Aufnahmezeitpunkt im Messbereich des Sensors 2 befindet. Die Position der vermessenen geförderten Materialien 10 auf der Fördereinrichtung 1 kann z.B. über die Positionsänderung zwischen zwei Messungen durch einen Drehgeber an einer nicht angetriebenen Walze bestimmt und von der Steuer- und Verarbeitungseinheit 5 den jeweils ermittelten Messwerten zugewiesen werden.

Am Ende der Fördereinrichtung 1 werden die geförderten Materialien 10 der Selektionseinrichtung 3 zugeführt, die die bei ihr einlangenden geförderten Materialien 10

in Abhängigkeit von einem Auswahlsignal an einen von zumindest zwei Materialströmen weiterleitet. Das Auswahlsignal wird dabei in Abhängigkeit von demjenigen Messwert erstellt, der den Materialien 10 zugeordnet wurde, die sich aktuell im Bereich der Selektionseinrichtung 3 befinden.

Die Steuer- und Verarbeitungseinheit 5 ist mit der Selektionseinrichtung 3 bzw. deren Antriebseinheit 32 verbunden und aktiviert die Antriebseinheit 32 der zumindest einen Selektionseinrichtung 3 zur Drehung. Die Drehrichtung ist dabei abhängig vom ermittelten Auswahlsignal ist, sodass die Materialien 10 dem entsprechenden Materialstrom zugeführt werden, und derart kontaminierte und nicht kontaminierte Materialien getrennt voneinander in verschiedene Behälter 4a, 4b gefördert werden. Eine derartige Ausgestaltung der Förderanlage ermöglicht es vorteilhafterweise, Materialien 10 nicht nur in vorgegebenen Mengeneinheiten bzw. Batchgrößen, d.h. diskontinuierlich, zu bewerten und zu sortieren. Alternativ dazu können die Materialien 10 auch zu einem beliebigen Zeitpunkt, z.B. bei Änderung der für die Materialien 10 ermittelten Messwerte, dem entsprechenden Materialstrom zugeordnet werden, indem das betreffende Auswahlsignal geändert wird.

Dazu wird beispielsweise kontinuierlich ein Auswahlsignal für diejenigen Materialien 10 bereitgestellt, die aktuell von der Fördereinrichtung 1 der Selektionseinrichtung 3 zugeführt wurden bzw. in ein Bechersegment 32a, 32b, 32c der Selektionseinrichtung 3 gelangt sind, sodass diese Materialien 10 von der Selektionseinrichtung 3 auch kontinuierlich dem, dem Auswahlsignal entsprechenden, Materialstrom zugeordnet werden. Dies bedeutet, dass eine Weiterleitung an den entsprechenden Materialstrom in unterschiedlichsten Teilmengen zu beliebigen Zeitpunkten möglich ist, wenn beispielsweise der für die jeweiligen Materialien 10 ermittelte Messwert einen vorgegebenen Grenzwert überschreitet.

Alternativ zu diesem einfachen Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens, bei dem nur ein Sensor 2 für ionisierende Strahlung zum Einsatz kommt, kann auch ein komplexerer Aufbau mit mehreren Sensoren zum Einsatz kommen. Beispielsweise können auch zwei für unterschiedliche Strahlungsarten sensitive Sensoren 2, 21 in Transportrichtung T betrachtet hintereinander angeordnet sein. Dabei kann es sich beispielsweise um einen Sensor 2 für Gammastrahlung und einen Sensor 21 für Betastrahlung handeln. Optional können auch mehr als zwei Sensoren, die für unterschiedliche Strahlungsarten und/oder Energiebereiche sensitiv sind, hintereinander angeordnet werden.

Die hintereinander angeordneten Sensoren 2, 21 können jeweils Messwerte in Bezug auf einen Messbereich 20 ermitteln, der die gesamte Breite der Fördereinrichtung 1 bzw. des Förderbands abdeckt. Die einzelnen Messwerte werden dabei jeweils im Speicher 51 der Steuer- und Verarbeitungseinheit 5 hinterlegt, wobei alle Messwerte, die jeweils von demselben Bereich der geförderten Materialien 10 stammen, gemeinsam abgespeichert und bei der Bildung des Auswahlsignals für die Betätigung der Selektionseinrichtung 3 verwendet werden.

Optional können die Messungen auch mit einer Vielzahl von gleichartigen Sensoren 2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d vorgenommen werden, wie dies beispielhaft in Fig. 3 dargestellt ist. Der Aufnahmebereich jedes der Sensoren 2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d deckt dabei jeweils nur einen Teilbereich 1a, ..., 1d der Breite der Fördereinrichtung 1 bzw. des Förderbands ab.

Eine derartige Sensoranordnung ist in Fig. 3 beispielhaft dargestellt, wo vier beispielsweise für Gammastrahlung sensitive Sensoren 2a, ..., 2d in Transportrichtung T nebeneinander angeordnet sind, sodass der Aufnahmebereich 20a, ..., 20d jedes der Sensoren 2a, ..., 2d jeweils einen Teilbereich 1a, ..., 1d der Breite des Förderbands abdeckt. Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist in Transportrichtung T betrachtet vor jedem der Sensoren 2a, ..., 2d ein weiterer Sensor 21a, ..., 21d, der für andere Strahlungsarten und/oder Energiebereiche sensitiv ist, angeordnet. Dies ist jedoch keinesfalls zwingend erforderlich und eine effiziente Sortierung von potentiell kontaminierten und nicht kontaminierten Materialien 10 kann mit einem erfindungsgemäßen Verfahren auch erzielt werden, wenn nur ein Sensortyp verwendet wird.

Der Abdeckungsbereich der weiteren unterschiedlichen Sensoren 21a, ..., 21d weist im Ausführungsbeispiel in Fig. 3 dieselbe Breite auf, wie der Abdeckungsbereich 20a, ..., 20d der Sensoren 2a, ..., 2d.

Wie in Fig. 3 gezeigt ist, wird bei einer derartigen mit einer Anzahl von nebeneinander angeordneten Sensoren 2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d ausgestatteten Förderanlage 100a die Selektion mit einer Vielzahl von separaten Selektionseinrichtungen 3a, ..., 3d vorgenommen. Jede Selektionseinrichtung 3a, ..., 3d ist dabei jeweils einem der Sensoren 2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d bzw. dem jeweils abgedeckten Teilbereich 1a, ..., 1d der Breite der Fördereinrichtung 1 zugeordnet. Dies bedeutet, dass die einander zugeordneten Selektionseinrichtungen 3a, ..., 3d und Sensoren 2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d jeweils denselben Teilbereich 1a, ..., 1d der Breite der Fördereinrichtung 1 abdecken.

Das Auswahlsignal für jede der Selektionseinrichtungen 3a, ..., 3d wird dabei auf Grundlage der zwischengespeicherten Messwerte der ihr jeweils zugeordneten Sensoren 2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d ermittelt. Diese bedeutet beispielsweise, dass das Auswahlsignal für die Selektionseinrichtung 3a auf Grundlage der Messwerte der Sensoren 2a; 21a gebildet wird, wie dies in Fig. 3 dargestellt ist.

Für die Bildung des Auswahlsignals werden Messwerte herangezogen, deren Aufnahmezeitpunkt eine vorgegebene Zeitspanne zurückliegt. Diese Zeitspanne entspricht in den gezeigten Ausführungsbeispielen in den Fig. 1 bis Fig. 6 der Zeit, die die Beförderung der Materialien 10 vom Aufnahmebereich des jeweiligen Sensors 2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d bis zur Position der Selektionseinrichtung 3 an der Fördereinrichtung 1 entspricht.

Im Fall, dass mehrere hintereinander angeordnete Sensoren 2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d, die z. B. für unterschiedliche Strahlungsarten und/oder Energiebereiche sensitiv sind, Messwerte im Bezug auf Bereiche der geförderten Materialien 10 ermitteln, wie dies in Fig. 3 dargestellt ist, werden dabei jeweils unterschiedliche vorgegebene Zeitspannen berücksichtigt. Dies ist dadurch bedingt, dass die Zeitspannen, die vergehen, bis die Materialien 10 vom Aufnahmebereich eines jeweiligen Sensors bis zur Position der Selektionseinrichtung 3a, ..., 3d an der Fördereinrichtung 1 einlangen, verschieden sind.

### **Ermittlung eines Auswahlsignals**

Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren kann die Ermittlung des Auswahlsignals zur Ansteuerung einer Selektionseinrichtung 3 oder mehrerer Selektionseinrichtungen 3a, ..., 3d auf unterschiedliche Weise durch digitale Filter erfolgen. Als ein derartiger digitaler Filter wird im Zusammenhang mit der Erfindung beispielsweise das Gewichten und Summieren der einzelnen ermittelten Messwerte oder das Ermitteln eines Maximalwerts unter den einzelnen Messwerten verstanden. Beispielsweise kann ein Mittelwert z.B. ein gleitender Mittelwert, oder ein Maximalwert auf Grundlage der ermittelten Messwerte gebildet werden.

Dieser Mittelwert oder Maximalwert kann beispielsweise für die unsortierten Materialien 10 ermittelt werden, die innerhalb eines vorgegebenen zeitlichen Intervalls an einem betreffenden Sensor, z.B. einem Gamma-Detektor, vorbeitransportiert werden, wie dies in Fig. 4 dargestellt ist. Das zeitliche Intervall kann dabei an den Aufnahmebereich des jeweiligen Sensors 2, 21 angepasst sein und eine Länge von z.B. mehreren Sekunden

aufweisen. Überschreitet der derart ermittelte Mittelwert oder Maximalwert einen vorgegebenen Schwellenwert  $T_h$ , werden die betreffenden Materialien 10 als kontaminiert betrachtet und von der betreffenden Selektionseinrichtung 3 dem entsprechenden Materialstrom zugeordnet.

Alternativ dazu kann ein Auswahlsignal auf Basis der über ein variables Zeitintervall gemittelten Gamma- oder Beta-Messwerte, das z.B. abhängig vom Ausmaß der zeitlichen Änderung der Messwerte ist, abgeleitet werden.

Handelt es sich bei den eingesetzten Sensoren beispielsweise um Betastrahlungs-Detektoren, kann auf Grundlage beispielsweise eines gleitenden Mittelwerts über die Betastrahlungs-Messwerte, z.B. die Betastrahlungs-Intensität, innerhalb eines definierten Zeitintervalls von beispielsweise mehreren Sekunden ein Auswahlsignal für die Weiterleitung der geförderten Materialien 10 abgeleitet werden.

Weiters alternativ dazu kann auf Basis der über ein definiertes, kurzes Zeitintervall von z.B. 1 s, summierten Betastrahlungs-Messwerte eine Sortierentscheidung bzw. ein diesbezügliches Auswahlsignal auf Basis des maximalen Betastrahlungs-Messwerts innerhalb eines definierten längeren Intervalls von z.B. 16 s abgeleitet werden.

Generell ist die Heranziehung des Maximums der Messwerte über ein definiertes Zeitintervall als Auswahlsignal besonders vorteilhaft, da in diesem Fall nur ein geringeres Risiko einer Unterschätzung der Kontamination besteht, da statistische Schwankungen hin zu niedrigeren Messwerten, die fälschlicherweise auf eine besonders geringe Kontamination schließen lassen würden, nicht in das Sortierkriterium einbezogen werden.

#### Einfluss von Quereinstrahlung

Für die Bildung eines Auswahlsignals können auch mit zumindest einem Sensor 2, der die gesamte Breite der Fördereinrichtung 1 abdeckt, ermittelte Messwerte einer Gamma-Spektralmessung für eine Anzahl von unterschiedlichen Teilchenenergien herangezogen werden. Alternativ dazu können mehrere gleichartige, nebeneinander angeordnete Sensoren 2a, ..., 2d für die Ermittlung von Gammaspektren herangezogen werden. Ein derartiger Sensoraufbau zur Ermittlung von Gammastrahlungs-Messwerten ist im Ausführungsbeispiel in Fig. 5 gezeigt. Bei der Erstellung des Selektionssignals wird dabei beispielsweise eine gewichtete Summe der einzelnen Spektralmesswerte des Gammaspektrums verwendet.

Deckt der Aufnahmebereich 20a, ..., 20d jedes der Sensoren 2a, ..., 2d jeweils nur einen Teilbereich 1a, ..., 1d der Breite der Fördereinrichtung 1 bzw. des Förderbands ab, kann zusätzlich Quereinstrahlung aus benachbarten Messbereichen einen Beitrag zum Messwert, den ein jeweiliger Sensor 2a, ..., 2d misst, liefern, wie dies in Fig. 5 dargestellt ist.

Fig. 5 zeigt drei Sensoren 2a, 2b, 2c mit Aufnahmebereichen 20a, 20b, 20c, die jeweils Fördereinrichtungs-Teilbereiche 1a, 1b, 1c erfassen. Für den in Fig. 5 dargestellten Sensor 2b mit dem Aufnahmebereich 20b liefert beispielsweise Material 10, das auf den benachbarten Teilbereichen 1a, 1c der Fördereinrichtung 1 gefördert wird bzw. Strahlung, die von diesen Materialien 10 abgegeben wird, einen Beitrag zum Messwert, den der Sensor 2b misst. Dies bedeutet, dass eine seitliche Einstrahlung von Materialanteilen, die nicht direkt unter den Aufnahmebereich 20b, aber unmittelbar dazu benachbart liegen, einen Beitrag zum Messwert im Aufnahmebereich 20b liefert.

Auch Einstrahlung aus den Abschnitten des Teilbereichs 1b der Fördereinrichtung 1, die sich bereits aus dem Aufnahmebereich 20b des Detektors 2b bewegt haben oder noch nicht in den Aufnahmebereich 20b eingetreten sind, liefert Strahlungsanteile, die vom Sensor 2b erfasst werden. Ein um diesen Einfluss von Quereinstrahlung korrigierter Messwert wird dabei ermittelt, indem vom jeweils für einen Aufnahmebereich 20a, ..., 20d eines Fördereinrichtungs-Teilbereichs 1a, ..., 1d ermittelten Messwert die Messwerte zeitlich oder örtlich benachbarter Fördereinrichtungs-Teilbereiche 1a, ..., 1d in gewichteter Form abgezogen werden.

Ein schematisches Beispiel für diese Vorgangsweise ist in Fig. 6 dargestellt. Fig. 6 zeigt einen Ausschnitt von drei Fördereinrichtungs-Teilbereichen 1a, 1b, 1c einer Fördervorrichtung 1, der sich entlang der Transportrichtung T bewegt. Für den Aufnahmebereich 20b des in Fig. 5 dargestellten Sensors 2b wird ein Gammaspektrum aufgenommen und soll um den Beitrag der Gammaspektren, die für örtlich rechts bzw. links benachbarte Fördereinrichtungs-Teilbereiche 1a, 1c ermittelt wurden und um den Beitrag der Gammaspektren, die für die zeitlich vorangehenden bzw. nachfolgenden Bereiche des Teilbereichs 1b ermittelt wurden, korrigiert werden.

Um diese Vorgehensweise zu verdeutlichen, sind in Fig. 6 schematisch das zu korrigierende Gammaspektrum des Aufnahmebereichs 20b des Detektors 2b, sowie die für die Korrektur zu berücksichtigenden Gammaspektren der örtlich benachbarten bzw. zeitlich vorangehenden und nachfolgenden Fördereinrichtungs-Teilbereiche dargestellt.

Die Korrektur ist schematisch durch Subtraktionszeichen zwischen den betreffenden Gammaspektren angedeutet.

Für die Korrektur werden beispielsweise von den Sensoren 2a, 2c Spektren für die örtlich benachbarten Aufnahmebereiche 20a, 20c, die in Fig. 5 dargestellt sind, aufgenommen und im Speicher 51 der Steuer- und Verarbeitungseinheit 5 hinterlegt. Die Gammaspektren für die vom Sensor 2b für den zeitlich vorangehenden bzw. nachfolgenden Bereich des Teilbereichs 1b wurden bzw. werden ebenfalls aufgenommen im Speicher 51 hinterlegt. Die Korrektur eines jeweiligen Gammaspektrums erfolgt beispielsweise durch einen gewichteten z.B. prozentuellen Abzug der benachbarten Spektren.

Für die Korrektur der ermittelten Gamma-Messwerte kann auch eine energieabhängige Gewichtung der benachbarten Gamma-Messwerte vorgenommen werden, wobei beispielsweise höher energetische Anteile der Gamma-Messwerte beim Abzug stärker gewichtet werden, als niederenergetische Anteile. Für die Erstellung des Auswahlsignals können auch einzelne Bereiche des Gammaspektrums, die bestimmten interessierenden radioaktiven Stoffen zugeordnet sind, höher gewichtet werden, als die übrigen Bereiche.

#### Weighting Factor bzw. Quotientensumme

Für die Bildung eines Auswahlsignals können auch mit zumindest einem Sensor 2, der die gesamte Breite der Fördereinrichtung 1 abdeckt, ermittelte Messwerte einer Gamma-Spektralmessung für eine Anzahl von unterschiedlichen Teilchenenergien als Grundlage für die Berechnung von weighting factors bzw. Quotientensummen verwendet werden. Für eine derartige Gamma-Spektralmessung können beispielsweise Germanium-Detektoren zum Einsatz kommen.

Die Steuer- und Verarbeitungseinheit 5 summiert in diesem Fall beispielsweise die einzelnen ermittelten Gammaspektren der jeweiligen für Gammastrahlung sensitiven Sensoren 2 anhand ihrer Positionsangabe über einen vorgegebenen Längenbereich des Förderbandes bzw. ein vorgegebenes Zeitintervall, dessen Länge an die Größe des Aufnahmebereichs des jeweiligen Sensors 2 angepasst ist.

Somit wird bei einer vorgegebenen Messzeit von z.B. einer Sekunde und bei einer Transportgeschwindigkeit der Fördereinrichtung 1 von z.B. 1 cm/s und einer Summierung über z.B. 230 mm Förderbandlänge im Mittel über die aktuellsten 23 einzelnen Gammaspektren summiert. Mit jedem neuem einzelnen Gammaspektrum, das

aufgenommen wird, wird das jeweils zeitlich älteste Gammaspektrum des vorgegebenen Zeitintervalls nicht mehr für Summenbildung berücksichtigt.

Die Gesamtaktivität eines jeweiligen Nuklids  $i$  unter einem jeweiligen Sensor  $k$  ergibt sich für einen bestimmten Zeitpunkt dabei folgendermaßen:

$$A_{ik} = \text{counts}_i / (\text{life time} * \text{efficiency} * \text{abundance})$$

Dabei sind

|                       |                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_{ik}$ ...          | Gesamtaktivität des Nuklids $i$ unter dem jeweiligen Sensor $k$ , Einheit: [Bq]                                                                                                       |
| $\text{counts}_i$ ... | die in einem Zeitintervall innerhalb der region of interest (ROI) für das jeweilige Nuklid $i$ am jeweiligen Sensor $k$ gezählten Impulse [dimensionslos]                             |
| life time ...         | die aktive Messzeit des für Gammastrahlung sensitiven Sensors $k$ während des Zeitintervalls, innerhalb dessen die counts gezählt wurden, Einheit: [s]                                |
| efficiency ...        | die Detektoreffizienz (Detektor- und Geometrie-spezifisch) bei der für das entsprechende Nuklid $i$ charakteristischen Strahlungsenergie, Einheit: [counts pro ausgesandtem Teilchen] |
| abundance ...         | die Wahrscheinlichkeit, mit der das Radionuklid $i$ die Gammastrahlung der entsprechenden Energie aussendet, Einheit: [generierte Teilchen in $\text{s}^{-1}/\text{Bq}$ ]             |

Der weighting factor für ein jeweiliges Nuklid  $i$  ergibt sich für einen Sensor  $k$  für einen bestimmten Zeitpunkt dabei als:

$$WF_{ik} = A_{ik} / (\text{Masse}_k * \text{Grenzwert}_i)$$

Dabei sind:

|                          |                                                                                                                  |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $WF_{ik}$ ...            | Weighting factor für Nuklid $i$ für den jeweiligen Sensor $k$ , Einheit: [dimensionslos]                         |
| $A_{ik}$ ...             | Gesamtaktivität des Nuklids $i$ unter dem jeweiligen Sensor $k$ , Einheit: [Bq],                                 |
| $\text{Masse}_k$ ...     | die unter dem Messfenster befindliche Gesamtmasse in [g], konstanter Faktor auf Basis der bisherigen Erfahrungen |
| $\text{Grenzwert}_i$ ... | Grenzwert für dieses Nuklid in [Bq/g]                                                                            |

Der weighting factor insgesamt für einen jeweiligen Sensor  $k$  für einen bestimmten Zeitpunkt ergibt sich somit als:

$$WF_k = \sum_i WF_{ik}$$

Mit

$WF_k \dots$  Weighting factor für den jeweiligen Sensor k, Einheit: [dimensionslos]

$WF_{ik} \dots$  Weighting factor für as jeweilige Nuklid i und den jeweiligen Sensor k, Einheit: [dimensionslos]

Also gilt insgesamt für den weighting factor für einen jeweiligen Sensor k:

$$WF_k = \sum_i \text{counts}_i / (\text{life time} * \text{efficiency} * \text{abundance} * \text{Masse}_k * \text{Grenzwert}_i)$$

### Aktivitätsangaben

Werden die unsortierten Materialien 10, wie zuvor beschrieben, mittels einer Selektionseinheit 3 oder verschiedenen Selektionseinrichtungen 3a, ..., 3d in Behälter 4 gefördert, so kann optional auch eine nuklidspezifische Aktivitätsangabe pro Behälter 4 ermittelt werden. Dazu werden beispielsweise die einzelnen Gamma-Messwerte oder Betastrahlungs-Messwerte, für die dasselbe Auswahlsignal ermittelt wurde und die in Bezug auf Materialien 10 aufgenommen wurden, die demselben Materialstrom zugeordnet wurden, akkumuliert, beispielsweise aufsummiert.

Optional kann eine Förderanlage 100 zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens auch eine Wiegeeinheit 40 für einen Behälter 4 oder mehrere Behälter 4a, ..., 4d umfassen. So kann beispielsweise Nettomasse der Behälter 4; 4a, ..., 4d im Betrieb bestimmt werden, was bei Vorgabe eines stets gleichen Füllgrads der Behälter 4; 4a, ..., 4d Rückschlüsse auf die Dichte der Materialien 10, die in den jeweiligen Behälter 4; 4a, ..., 4d gefördert wurden, zulässt. Zur Überwachung des Füllstands der Behälter 4; 4a, ..., 4d kann die Förderanlage 100 einen Füllstandssensor 30 umfassen.

Optional kann eine spezifische Aktivitätsangabe pro Behälter 4 bzw. 4a, ..., 4d ermittelt werden. Dazu wird, wie zuvor beschrieben, eine akkumulierte Aktivität für einen jeweiligen Behälter 4 ermittelt, durch Wiegung des jeweiligen Behälters 4 dessen Gewicht festgestellt und aus diesen beiden Angaben eine spezifische Aktivität ermittelt.

Ein weighting factor insgesamt für einen jeweiligen Behälter 4; 4a, ..., 4d ergibt sich dabei unter der Annahme, dass der Term  $\text{Masse}_k$  konstant ist, als Mittelwert über alle  $WF_k$ , die in den jeweiligen Behälter 4; 4a, ..., 4d zugeordnet sind.

### Vergleich von Gamma- und Betastrahlungs-Messwerten

Ergänzend kann für die Bildung des Auswahlsignals für die Selektionseinrichtung 3 bzw. mehreren Selektionseinrichtungen 3a, ..., 3d und/oder die Aktivitätsangabe auch ein

Vergleich der für denselben Bereich oder Teilbereich der geförderten Materialien 10 ermittelten Gamma-Messwerte mit den jeweils ermittelten Betastrahlungs-Messwerten durchgeführt werden. Da für radioaktive Nuklide bekannt ist, welche Arten von Strahlung bzw. mit welcher Aktivität sie Strahlung abgeben, kann aus einer Gegenüberstellung der Gamma-Messwerte mit den Betastrahlungs-Messwerten abgeschätzt werden, ob zusätzlich zu Nukliden bzw. Stoffen, die sowohl Gamma- als auch Betastrahlung abgeben, Stoffe vorhanden sind, die nur Betastrahlung abgeben. Auf diese Weise können die reinen Betastrahler abgeschätzt werden und deren Aktivität ermittelt werden.

### **Mehrere Sortierdurchläufe**

Optional kann ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Behandeln und Sortieren von potentiell mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Materialien 10 auch als mehrstufiges Verfahren ausgestaltet sein.

So kann beispielsweise eine Neubewertung der in einem ersten Sortierdurchlauf als kontaminiert klassifizierten Materialien 10 in zumindest einem erneuten Sortierdurchlauf mit geänderten Parametern, beispielsweise anderen Schwellenwerten, für die Erstellung des Auswahlsignals erfolgen.

In einem ersten Sortierdurchlauf kann beispielsweise ein relativ niedriger Schwellenwert für die Aussortierung als kontaminiertes Material angewandt werden, wenn z.B. nicht bekannt ist, welche Radionuklide in den zu sortierenden Materialien 10 vorhanden sind. Stellt sich bei einer nachgelagerten Analyse der für die Materialien 10 ermittelten Messwerte heraus, dass nur Nuklide vorhanden sind, die einen höheren Schwellenwert als Sortierschwelle zulassen, kann in diesem Fall ein erneuter Sortierdurchlauf mit einem angepasstem Schwellenwert erfolgen.

Eine Neubewertung der in einem ersten Sortierdurchlauf als kontaminiert klassifizierten Materialien 10 kann beispielsweise auch erfolgen, wenn bei einer optionalen Wiegung eines jeweiligen Behälters 4; 4a, ..., 4d nachträglich erkannt wird, dass die Schüttdichte der Materialien 10 unterschätzt wurde. Dies hat als Auswirkung, dass, wenn eine Aktivität pro Masse bzw. pro Behälter 4 berechnet wird, diese überschätzt wird.

Ein erneuter Sortierdurchlauf kann auch erfolgen, wenn nach einem ersten Sortierdurchlauf festgestellt wird, dass großteils unbedenkliche, nicht oder nur gering kontaminierte Materialien 10 mit einigen wenigen hochbelasteten Teilchen versetzt sind, die isolierte, hohe Maxima in ansonsten unauffälligen Messwerten bedingen. In diesem

Fall können in einem erneuten zweiten Sortierdurchlauf mit hohem Sortierwert bzw Schwellenwert diese kontaminierten Teilchen aus den als kontaminiert klassifizierten Materialien 10 heraussortiert werden. Da die hochbelasteten Teilchen im zweiten Sortierdurchlauf derart heraussortiert wurden, tritt in einem weiteren nachfolgenden dritten Sortierdurchlauf, in dem wiederum ein geringerer Sortierwert bzw Schwellenwert gewählt wird, eine geringere Querstrahlung auf, wodurch auch weitere Anteile des zu sortierenden Materials als unkontaminiert erkannt werden, die im ersten Sortierdurchlauf aufgrund der dort höheren Querstrahlung noch als kontaminiert erkannt wurden.

Alternativ dazu kann eine Neubewertung der in einem ersten Sortierdurchlauf als nicht kontaminiert klassifizierten Materialien 10 in zumindest einem erneuten Sortierdurchlauf mit geänderten Parametern, beispielsweise anderen Schwellenwerten, für die Erstellung des Auswahlsignals erfolgen. Dies kann beispielsweise erfolgen, wenn sich bei einer nachgelagerten Analyse der für die Materialien 10 ermittelten Messwerte herausstellt, dass ein oder mehrere unerwartete Radionuklide vorhanden sind, für die z.B. ein geringerer Sortierwert oder eine Sortierung mittels Sensoren, die für Gammastrahlung sensitiv sind, erforderlich wäre. Je nach Datenlage ist es in diesem Fall vorteilhaft, die als nicht kontaminiert klassifizierten Materialien 10 mit an das betreffende Nuklid angepassten Parametern erneut einem Sortierdurchlauf zu unterwerfen.

Alternativ kann ein derartiger erneuter Sortierdurchlauf erfolgen, wenn bei einer optionalen Wiegung eines jeweiligen Behälters 4; 4a, ..., 4d nachträglich erkannt wird, dass die Schüttdichte der Materialien 10 überschätzt wurde. In diesem Fall wurde die Aktivität pro Masse unterschätzt. Je nach Datenlage ist es in diesem Fall vorteilhaft, die als nicht kontaminiert klassifizierten Materialien 10 mit an die Schüttdichte angepassten Parametern erneut zu sortieren.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Behandeln und Sortieren von potentiell mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Materialien (10),
  - a) wobei unsortierte Materialien (10) auf einer Fördereinrichtung (1) gefördert werden,
  - b) wobei einzelne Bereiche der unsortierten Materialien (10) im Zuge der Beförderung auf der Fördereinrichtung (1) in Hinblick auf zumindest eine Form von ionisierender Strahlung vermessen werden,
  - c) wobei die so ermittelten Messwerte zwischengespeichert und demjenigen Bereich der geförderten Materialien (10) zugeordnet werden, der sich zum Aufnahmezeitpunkt im Messbereich des zumindest einen den Messwert ermittelnden Sensors (2; 21) befindet,
  - d) wobei die geförderten Materialien (10) an einer Position der Fördereinrichtung (1), insbesondere an deren Ende, zumindest einer Selektionseinrichtung (3) zugeführt werden, die die bei ihr einlangenden geförderten Materialien (10) in Abhängigkeit von einem Auswahlsignal an einen von zumindest zwei Materialströmen weiterleitet,
  - e) wobei das jeweilige an die zumindest eine Selektionseinrichtung (3) weitergeleitete Auswahlsignal in Abhängigkeit von demjenigen Messwert oder denjenigen Messwerten ermittelt wird, der oder die dem im Bereich der Selektionseinrichtung (3) befindlichen Teil der Materialien (10) zugeordnet wurde.
  
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen ermittelten Messwerte einem digitalen Filter zugeführt werden,
  - wobei insbesondere vorgesehen ist, dass die einzelnen Messwerte gewichtet und/oder summiert werden und/oder dass unter den einzelnen Messwerten ein Maximalwert ermittelt wird, und
 dass das derartige durch Filterung ermittelte gefilterte Messwertsignal zur Bildung des Auswahlsignals herangezogen wird.
  
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass für die Bildung des Auswahlsignals Messwerte herangezogen werden, die eine vorgegebene Zeitspanne zuvor aufgenommen wurden, wobei diese Zeitspanne insbesondere der Zeit entspricht, die die Beförderung der Materialien (10) vom Aufnahmebereich des zumindest einen Sensors (2, 21) bis zur Position der Selektionseinrichtung (3) auf der Fördereinrichtung (1) entspricht.
  
4. Verfahren nach Anspruch einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Messungen mit einer Vielzahl von gleichartigen Sensoren (2a, ...,

2d; 21a, ..., 21d) vorgenommen werden, wobei der Aufnahmebereich jedes der Sensoren (2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d) jeweils nur einen Teilbereich der Breite der Fördereinrichtung (1) abdeckt,

dass eine Selektion mit einer Vielzahl von separaten Selektionseinrichtungen (3a, ..., 3d) vorgenommen wird, wobei jede Selektionseinrichtung (3a, ..., 3d) jeweils einem der Sensoren (2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d) zugeordnet ist und die einander zugeordneten Selektionseinrichtungen (3a, ..., 3d) und Sensoren (2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d) jeweils denselben Teilbereich der Breite der Fördereinrichtung (1) abdecken, und

dass die Bildung der einzelnen Auswahlsignale für die Selektionseinrichtungen (3a, ..., 3d) jeweils aufgrund der zwischengespeicherten Messwerte des jeweiligen der Selektionseinrichtung (3a, ..., 3d) zugeordneten Sensors (2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d) vorgenommen wird.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für die oder für jede Selektionseinrichtung (3; 3a, ..., 3d) eine Mehrzahl von in Transportrichtung (T) hintereinander befindlichen, für unterschiedliche Strahlungsarten und/oder Energiebereiche sensitiven Sensoren (2; 2a, ..., 2d; 21; 21a, ..., 21d) vorgesehen ist, die jeweils Messwerte in Bezug auf Bereiche der geförderten Materialien (10) ermitteln, die jeweils zu einer Selektionseinrichtung (3; 3a, ..., 3d) gelangen, und wobei die einzelnen Messwerte, die jeweils demselben Bereich von geförderten Materialien (10) zugeordnet sind, gemeinsam abgespeichert und für die Bildung des Auswahlsignals für die Betätigung der jeweiligen Selektionseinrichtung (3; 3a, ..., 3d) verwendet werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass für die Bildung des Auswahlsignals Messwerte unterschiedlicher, für unterschiedliche Strahlungsarten und/oder Energiebereiche sensitiver Sensoren (2; 2a, ..., 2d; 21; 21a, ..., 21d) herangezogen werden, die jeweils unterschiedliche vorgegebene Zeitspannen zuvor aufgenommen wurden, wobei diese Zeitspannen insbesondere derjenigen Zeit entsprechen, die die Beförderung der Materialien (10) vom Aufnahmebereich des jeweiligen Sensors bis zur Position der Selektionseinrichtung (3; 3a, ..., 3d) auf der Fördereinrichtung (1) entsprechen.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Mittelwert, insbesondere ein gleitender Mittelwert, oder ein Maximalwert auf Grundlage der in einem vorgegebenen zeitlichen Intervall, das dem Zeitpunkt vorangeht, an dem sich die Materialien (10) an der Position der Selektionseinrichtung (3; 3a, ..., 3d)

auf der Fördereinrichtung (1) befinden, aufgenommenen Messwerte der Sensoren (2; 2a, ..., 2d; 21; 21a, ..., 21d) ermittelt wird und als Auswahlsignal für die Weiterleitung der geförderten Materialien (10) herangezogen wird.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Messwert die Ergebnisse einer Gamma-Spektralmessung für eine Anzahl von unterschiedlichen Teilchenenergien herangezogen werden, wobei insbesondere bei der Erstellung des Selektionssignals eine gewichtete Summe der einzelnen Spektralmesswerte des Gammaspektrums verwendet wird, wobei vorzugsweise einzelne Bereiche des Gammaspektrums, die bestimmten interessierenden radioaktiven Stoffen zugeordnet sind, höher gewichtet werden als die übrigen Bereiche.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Messwert die Betastrahlungsintensität herangezogen wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Aufnahmebereich jedes der Sensoren (2; 2a, ..., 2d; 21; 21a, ..., 21d) jeweils nur einen Teilbereich (1a, ..., 1d) der Breite der Fördereinrichtung (1) abdeckt, und dass ein korrigierter Messwert ermittelt wird, indem vom jeweils ermittelten Messwert eines Fördereinrichtungs-Teilbereichs (1a, ..., 1d) die Messwerte zeitlich oder örtlich benachbarter Fördereinrichtungs-Teilbereiche (1a, ..., 1d) in gewichteter Form abgezogen werden.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass ein korrigierter Gamma-Messwert ermittelt wird und dass im Rahmen der Korrektur eine energieabhängige Gewichtung der benachbarten Gamma-Messwerte vorgenommen wird, insbesondere dass höherenergetische Anteile der Gamma-Messwerte beim Abzug stärker gewichtet werden als niederenergetische Anteile der Gamma-Messwerte.

12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Vergleich der einzelnen Gamma-Messwerte, insbesondere der Ergebnisse der Gamma-Spektralmessung, für eine Anzahl von unterschiedlichen Teilchenenergien mit den Betastrahlungs-Messwerten, die jeweils in Bezug auf denselben Bereich oder Teilbereich der geförderten Materialien (10) ermittelt wurden, durchgeführt wird, wobei derart die Gegenwart von reinen Betastrahlern ermittelt und die Aktivität der reinen Betastrahler abgeschätzt wird.

13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen Messwerte für die dasselbe Auswahlsignal ermittelt wurde und die in Bezug auf Materialien (10) aufgenommen wurden, die demselben Materialstrom zugeordnet wurden, akkumuliert werden,

wobei insbesondere vorgesehen ist, dass eine Akkumulation aller Gamma-Messwerte oder Betastrahlungs-Messwerte vorgenommen wird, die demselben Behälter (4; 4a, ..., 4d) zugeführt werden.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die für die jeweils in denselben Behälter (4; 4a, ..., 4d) geförderten Materialien (10) ermittelten Messwerte, insbesondere die Ergebnisse der Gamma-Spektralmessung für eine Anzahl von unterschiedlichen Teilchenenergien, akkumuliert werden, wobei eine massenspezifische Messgröße für jeden Behälter (4; 4a, ..., 4d) ermittelt wird, und wobei ein akkumulierter Messwert, insbesondere die spezifische Aktivität, bestimmter interessierender radioaktiver Nuklide für den jeweiligen Behälter (4; 4a, ..., 4d) abgeleitet wird.

15. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in einem ersten Sortierdurchlauf als kontaminiert und/oder nicht kontaminiert erkannt und von der zumindest einen Selektionseinrichtung (3; 3a, ..., 3d) an einen diesbezüglichen Materialstrom weitergeleiteten Materialien (10) in zumindest einem erneuten Sortierdurchlauf auf der Fördereinrichtung (1) gefördert und in Hinblick auf zumindest eine Form von ionisierender Strahlung vermessen werden,

wobei jeweils erneut ein Auswahlsignal für die jeweilige Selektionseinrichtung (3) in Abhängigkeit von demjenigen Messwert oder denjenigen Messwerten ermittelt wird, der oder die dem im Bereich der Selektionseinrichtung (3) befindlichen Teil der Materialien (10) zugeordnet wurde.

16. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Erstellung des Auswahlsignals und die Weiterleitung der geförderten Materialien (10) an einen der zumindest zwei Materialströme in Abhängigkeit vom Auswahlsignal diskontinuierlich für vorgegebene Mengeneinheiten, insbesondere batchweise, oder kontinuierlich erfolgt.

17. Förderanlage (100) zum Behandeln und Sortieren von potentiell mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Materialien (10), insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 16, umfassend

- eine, insbesondere kontinuierlich laufende, Fördereinrichtung (1) zum Befördern von unsortierten Materialien (10),
- zumindest einen Sensor (2), der auf die Fördereinrichtung (1) gerichtet ist und dazu ausgebildet ist, einzelne Bereiche der unsortierten Materialien (10) im Zuge der Beförderung auf der Fördereinrichtung (1) in Hinblick auf zumindest eine Form von ionisierender Strahlung zu vermessen,
- zumindest eine Selektionseinrichtung (3), der die geförderten Materialien (10) an einer Position der Fördereinrichtung (1), insbesondere an deren Ende, zugeführt werden, wobei die Selektionseinrichtung (3) dazu ausgebildet ist, die bei ihr einlangenden geförderten Materialien (10) in Abhängigkeit von einem Auswahlsignal an einen von zumindest zwei Materialströmen weiterzuleiten und
- eine dem zumindest einen Sensor (2) nachgeschaltete und mit der zumindest einen Selektionseinrichtung (3) verbundene Steuer- und Verarbeitungseinheit (5), wobei die Steuer- und Verarbeitungseinheit (5) dazu ausgebildet ist,
  - die von dem zumindest einen Sensor (2) ermittelten Messwerte zwischenspeichern und demjenigen Bereich der geförderten Materialien (10) zuzuordnen, der sich zum Aufnahmezeitpunkt im Messbereich des den Messwert ermittelnden Sensors (2; 21) befindet,
  - ein Auswahlsignal in Abhängigkeit von demjenigen Messwert oder denjenigen Messwerten zu ermitteln, der oder die dem im Bereich der Selektionseinrichtung (3) befindlichen Teil der Materialien (10) zugeordnet wurde, und
  - das jeweilige Auswahlsignal an die zumindest eine Selektionseinrichtung (3) weiterzuleiten.

18. Förderanlage (100) nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vielzahl von gleichartigen Sensoren (2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d) vorgesehen ist, wobei der Aufnahmebereich jedes der Sensoren (2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d) jeweils nur einen Teilbereich der Breite der Fördereinrichtung (1) abdeckt, dass eine Vielzahl von separaten Selektionseinrichtungen (3a, ..., 3d) vorgesehen ist, wobei jede Selektionseinrichtung (3a, ..., 3d) jeweils einem der Sensoren (2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d) zugeordnet ist und die einander zugeordneten Selektionseinrichtungen (3a, ..., 3d) und Sensoren (2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d) jeweils denselben Teilbereich der Breite der Fördereinrichtung (1) abdecken, und dass die Steuer- und Verarbeitungseinheit (5) dazu ausgebildet ist, die einzelnen Auswahlsignale für die Selektionseinrichtungen (3a, ..., 3d) jeweils aufgrund der zwischengespeicherten Messwerte des jeweiligen der Selektionseinrichtung (3a, ..., 3d) zugeordneten Sensors (2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d) zu ermitteln.

19. Förderanlage (100) nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass für die oder für jede Selektionseinrichtung (3; 3a, ..., 3d) eine Mehrzahl von in Transportrichtung (T) hintereinander befindlichen, für unterschiedliche Strahlungsarten und/oder Energiebereiche sensitiven Sensoren (2; 2a, ..., 2d; 21; 21a, ..., 21d) vorgesehen ist, wobei die Sensoren (2; 2a, ..., 2d; 21; 21a, ..., 21d) jeweils dazu ausgebildet sind, Messwerte in Bezug auf Bereiche der geförderten Materialien (10) zu ermitteln, die jeweils zu einer Selektionseinrichtung (3; 3a, ..., 3d) gelangen, und dass die Steuer- und Verarbeitungseinheit (5) dazu ausgebildet ist, die einzelnen Messwerte, die jeweils demselben Bereich von geförderten Materialien (10) zugeordnet sind, gemeinsam abzuspeichern und bei der Bildung des Auswahlsignals für die Betätigung der jeweiligen Selektionseinrichtung (3; 3a, ..., 3d) heranzuziehen.

20. Förderanlage (100) nach einem der Ansprüche 17 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuer- und Verarbeitungseinheit (5) dazu ausgebildet ist, ein Auswahlsignal nach einem der Ansprüche 2 bis 7 und/oder einen Messwert nach einem der Ansprüche 8 bis 14 zu ermitteln.

21. Förderanlage (100) nach einem der Ansprüche 17 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuer- und Verarbeitungseinheit (5) dazu ausgebildet ist, das Auswahlsignal diskontinuierlich für vorgegebene Mengeneinheiten, insbesondere batchweise, oder kontinuierlich zu erstellen und dass die zumindest eine Selektionseinrichtung (3) dazu ausgebildet ist, die geförderten Materialien (10) diskontinuierlich in vorgegebenen Mengeneinheiten, insbesondere batchweise, oder kontinuierlich an einen der zumindest zwei Materialströme in Abhängigkeit vom Auswahlsignal weiterzuleiten.

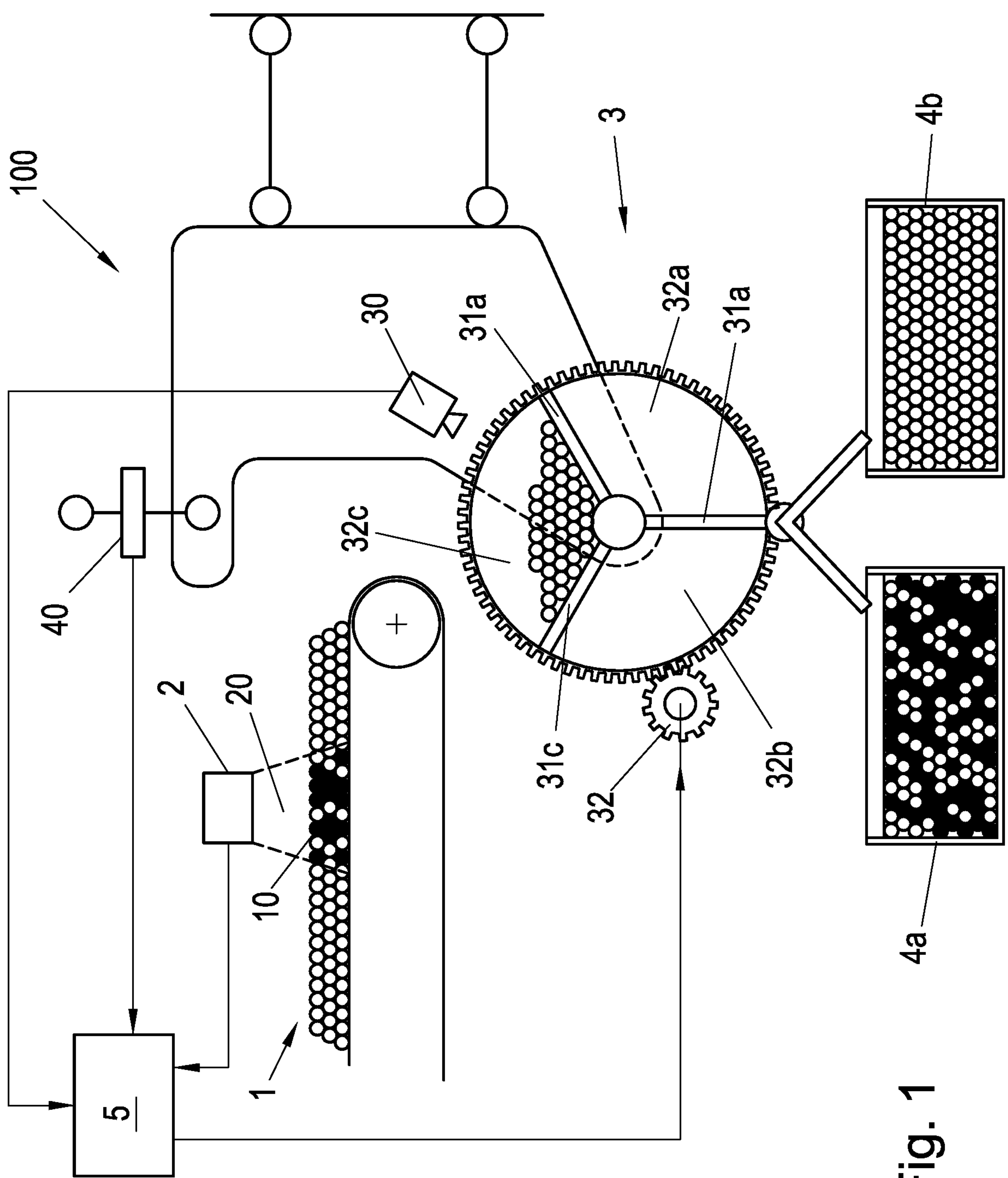


Fig. 1

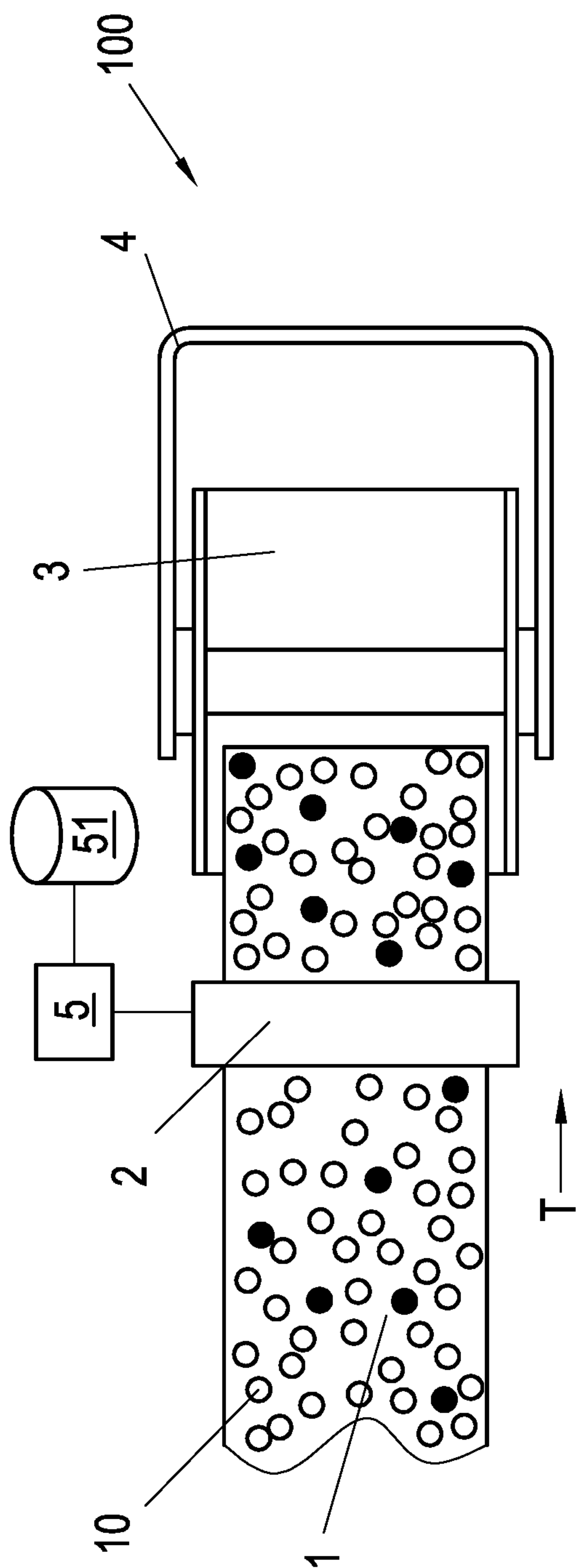


Fig. 2

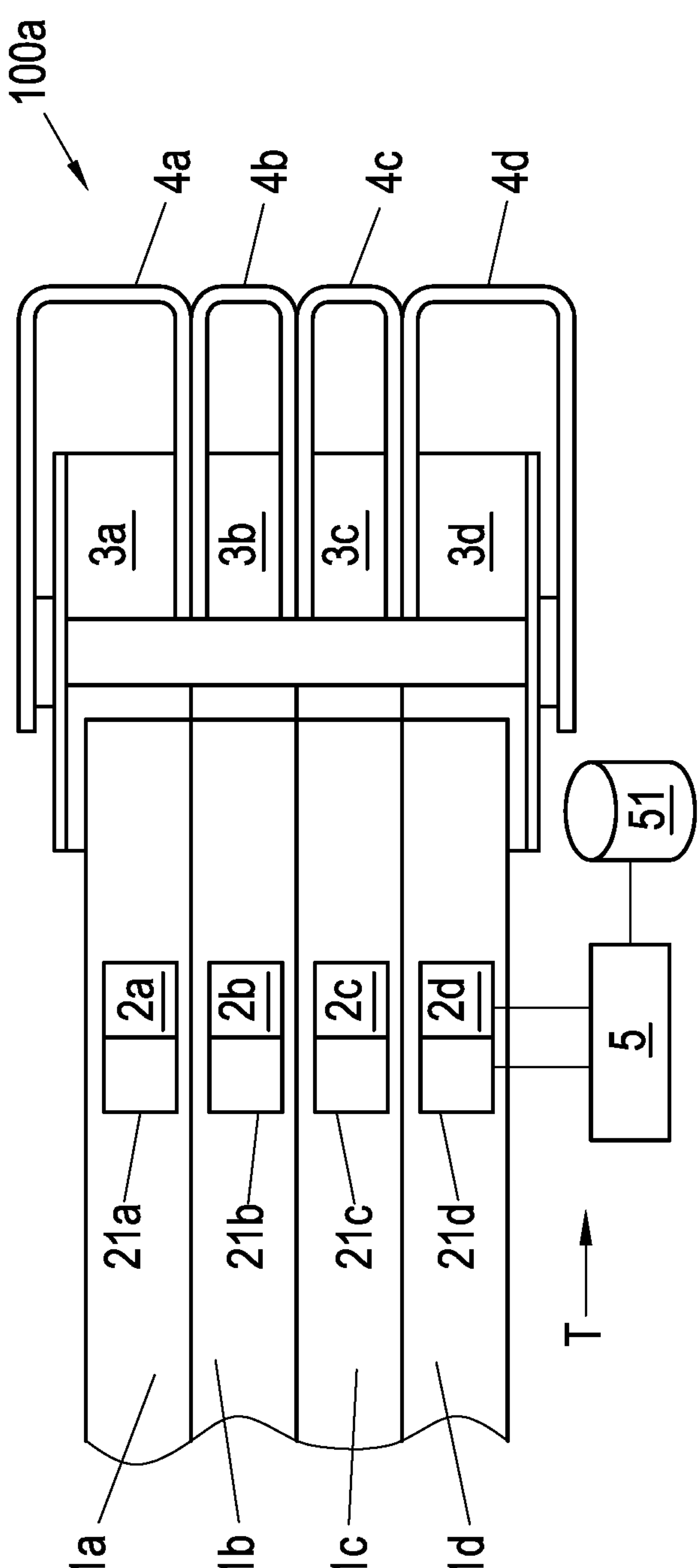


Fig. 3

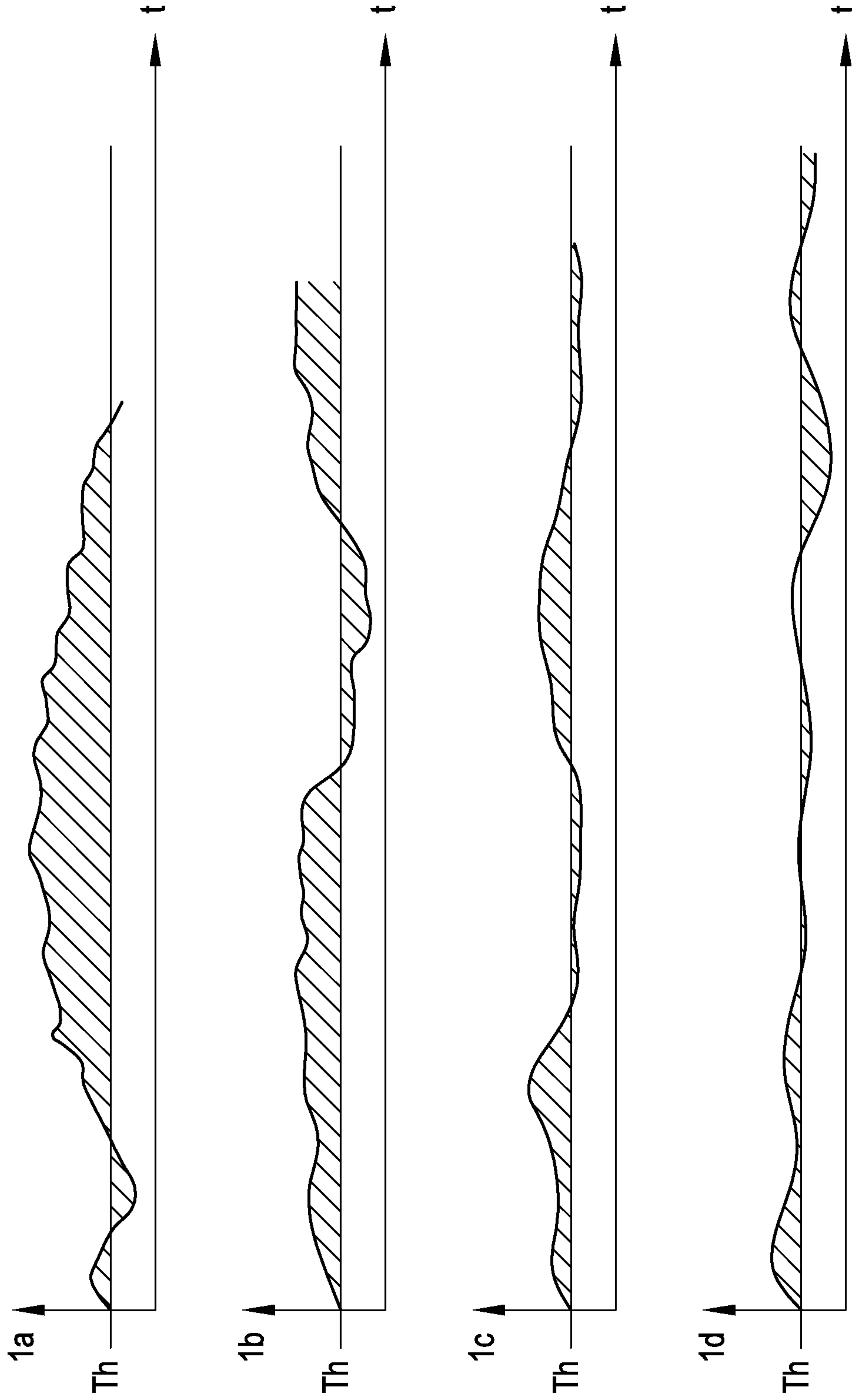


Fig. 4

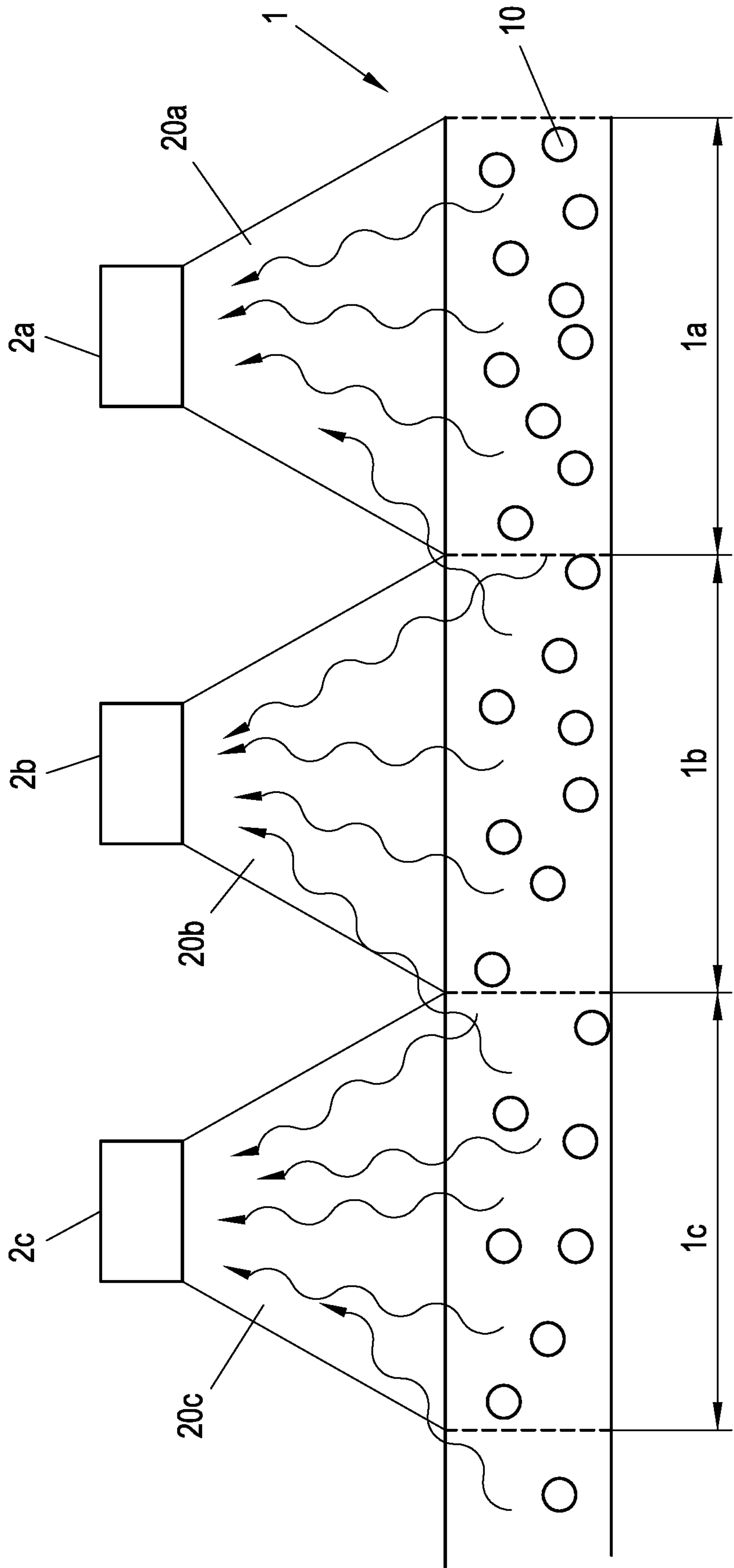


Fig. 5

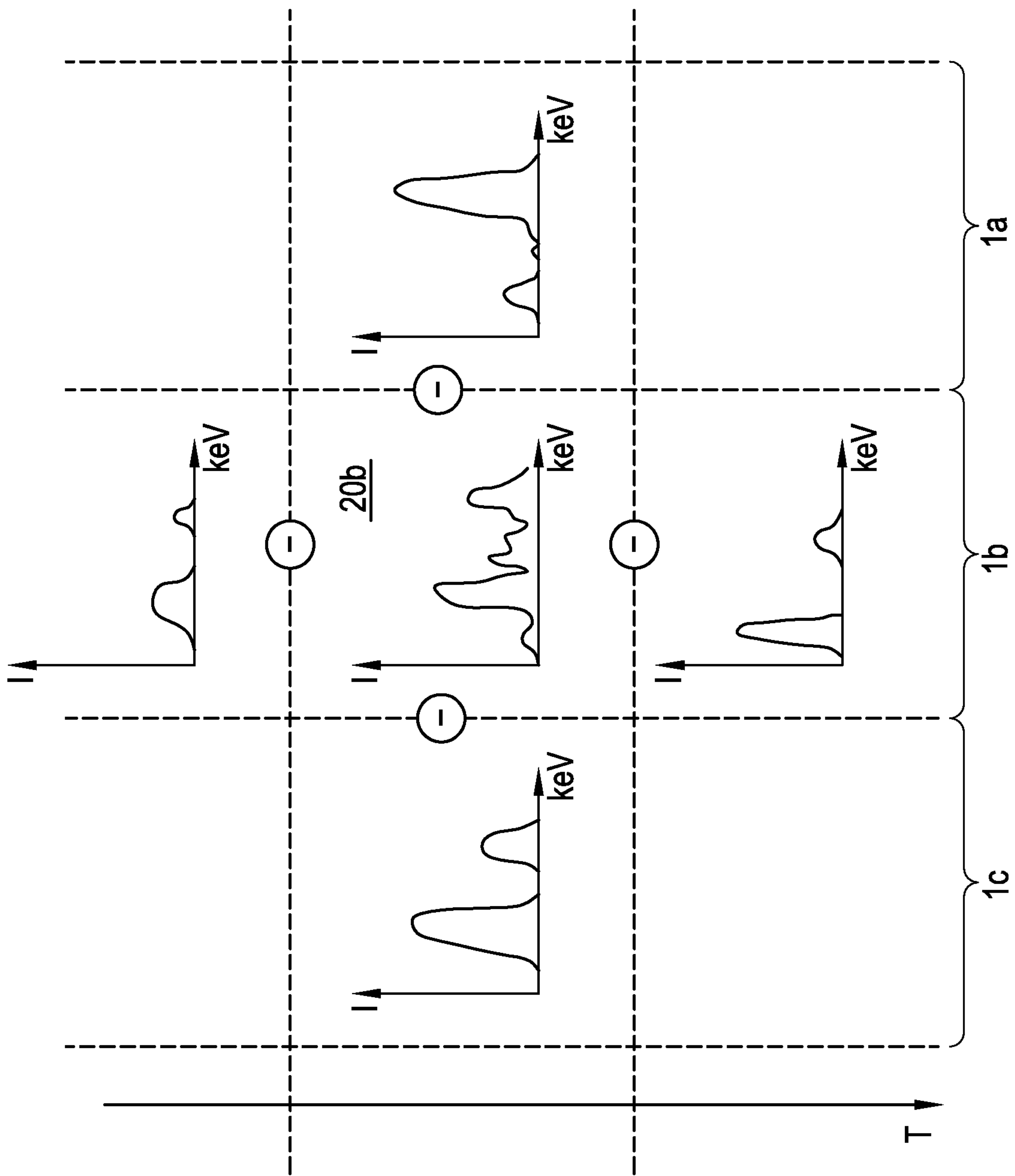


Fig. 6

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Behandeln und Sortieren von potentiell mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Materialien (10),

- a) wobei unsortierte Materialien (10) auf einer Fördereinrichtung (1) gefördert werden,
- b) wobei einzelne Bereiche der unsortierten Materialien (10) im Zuge der Beförderung auf der Fördereinrichtung (1) in Hinblick auf zumindest eine Form von ionisierender Strahlung vermessen werden,
- c) wobei die so ermittelten Messwerte zwischengespeichert und demjenigen Bereich der geförderten Materialien (10) zugeordnet werden, der sich zum Aufnahmezeitpunkt im Messbereich des zumindest einen den Messwert ermittelnden Sensors (2; 21) befindet,
- d) wobei die geförderten Materialien (10) an einer Position der Fördereinrichtung (1), insbesondere an deren Ende, zumindest einer Selektionseinrichtung (3) zugeführt werden, die die bei ihr einlangenden geförderten Materialien (10) in Abhängigkeit von einem Auswahlsignal an einen von zumindest zwei Materialströmen weiterleitet,
- e) wobei das jeweilige an die zumindest eine Selektionseinrichtung (3) weitergeleitete Auswahlsignal in Abhängigkeit von demjenigen Messwert oder denjenigen Messwerten ermittelt wird, der oder die dem im Bereich der Selektionseinrichtung (3) befindlichen Teil der Materialien (10) zugeordnet wurde,

dadurch gekennzeichnet,

- dass Messungen mit einer Vielzahl von gleichartigen Sensoren (2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d) vorgenommen werden, wobei der Aufnahmebereich jedes der Sensoren (2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d) jeweils nur einen Teilbereich der Breite der Fördereinrichtung (1) abdeckt,

dass eine Selektion mit einer Vielzahl von separaten Selektionseinrichtungen (3a, ..., 3d) vorgenommen wird, wobei jede Selektionseinrichtung (3a, ..., 3d) jeweils einem der Sensoren (2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d) zugeordnet ist und die einander zugeordneten Selektionseinrichtungen (3a, ..., 3d) und Sensoren (2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d) jeweils denselben Teilbereich der Breite der Fördereinrichtung (1) abdecken, und

dass die Bildung der einzelnen Auswahlsignale für die Selektionseinrichtungen (3a, ..., 3d) jeweils aufgrund der zwischengespeicherten Messwerte des jeweiligen der Selektionseinrichtung (3a, ..., 3d) zugeordneten Sensors (2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d) vorgenommen wird

und/oder

- dass für die oder für jede Selektionseinrichtung (3; 3a, ..., 3d) eine Mehrzahl von in Transportrichtung (T) hintereinander befindlichen, für unterschiedliche

Strahlungsarten und/oder Energiebereiche sensitiven Sensoren (2; 2a, ..., 2d; 21; 21a, ..., 21d) vorgesehen ist, die jeweils Messwerte in Bezug auf Bereiche der geförderten Materialien (10) ermitteln, die jeweils zu einer Selektionseinrichtung (3; 3a, ..., 3d) gelangen, und

wobei die einzelnen Messwerte, die jeweils demselben Bereich von geförderten Materialien (10) zugeordnet sind, gemeinsam abgespeichert und für die Bildung des Auswahlsignals für die Betätigung der jeweiligen Selektionseinrichtung (3; 3a, ..., 3d) verwendet werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen ermittelten Messwerte einem digitalen Filter zugeführt werden,

wobei insbesondere vorgesehen ist, dass die einzelnen Messwerte gewichtet und/oder summiert werden und/oder dass unter den einzelnen Messwerten ein Maximalwert ermittelt wird, und

dass das derartige durch Filterung ermittelte gefilterte Messwertsignal zur Bildung des Auswahlsignals herangezogen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass für die Bildung des Auswahlsignals Messwerte herangezogen werden, die eine vorgegebene Zeitspanne zuvor aufgenommen wurden, wobei diese Zeitspanne insbesondere der Zeit entspricht, die die Beförderung der Materialien (10) vom Aufnahmebereich des zumindest einen Sensors (2, 21) bis zur Position der Selektionseinrichtung (3) auf der Fördereinrichtung (1) entspricht.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für die Bildung des Auswahlsignals Messwerte unterschiedlicher, für unterschiedliche Strahlungsarten und/oder Energiebereiche sensitiver Sensoren (2; 2a, ..., 2d; 21; 21a, ..., 21d) herangezogen werden, die jeweils unterschiedliche vorgegebene Zeitspannen zuvor aufgenommen wurden, wobei diese Zeitspannen insbesondere derjenigen Zeit entsprechen, die die Beförderung der Materialien (10) vom Aufnahmebereich des jeweiligen Sensors bis zur Position der Selektionseinrichtung (3; 3a, ..., 3d) auf der Fördereinrichtung (1) entsprechen.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Mittelwert, insbesondere ein gleitender Mittelwert, oder ein Maximalwert auf Grundlage der in einem vorgegebenen zeitlichen Intervall, das dem Zeitpunkt vorangeht, an dem sich die Materialien (10) an der Position der Selektionseinrichtung (3; 3a, ..., 3d)

auf der Fördereinrichtung (1) befinden, aufgenommenen Messwerte der Sensoren (2; 2a, ..., 2d; 21; 21a, ..., 21d) ermittelt wird und als Auswahlsignal für die Weiterleitung der geförderten Materialien (10) herangezogen wird.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Messwert die Ergebnisse einer Gamma-Spektralmessung für eine Anzahl von unterschiedlichen Teilchenenergien herangezogen werden, wobei insbesondere bei der Erstellung des Selektionssignals eine gewichtete Summe der einzelnen Spektralmesswerte des Gammaspektrums verwendet wird, wobei vorzugsweise einzelne Bereiche des Gammaspektrums, die bestimmten interessierenden radioaktiven Stoffen zugeordnet sind, höher gewichtet werden als die übrigen Bereiche.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Messwert die Betastrahlungsintensität herangezogen wird.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Aufnahmebereich jedes der Sensoren (2; 2a, ..., 2d; 21; 21a, ..., 21d) jeweils nur einen Teilbereich (1a, ..., 1d) der Breite der Fördereinrichtung (1) abdeckt, und dass ein korrigierter Messwert ermittelt wird, indem vom jeweils ermittelten Messwert eines Fördereinrichtungs-Teilbereichs (1a, ..., 1d) die Messwerte zeitlich oder örtlich benachbarter Fördereinrichtungs-Teilbereiche (1a, ..., 1d) in gewichteter Form abgezogen werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass ein korrigierter Gamma-Messwert ermittelt wird und dass im Rahmen der Korrektur eine energieabhängige Gewichtung der benachbarten Gamma-Messwerte vorgenommen wird, insbesondere dass höherenergetische Anteile der Gamma-Messwerte beim Abzug stärker gewichtet werden als niederenergetische Anteile der Gamma-Messwerte.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Vergleich der einzelnen Gamma-Messwerte, insbesondere der Ergebnisse der Gamma-Spektralmessung, für eine Anzahl von unterschiedlichen Teilchenenergien mit den Betastrahlungs-Messwerten, die jeweils in Bezug auf denselben Bereich oder Teilbereich der geförderten Materialien (10) ermittelt wurden, durchgeführt wird, wobei derart die Gegenwart von reinen Betastrahlern ermittelt und die Aktivität der reinen Betastrahler abgeschätzt wird.

11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen Messwerte für die dasselbe Auswahlsignal ermittelt wurde und die in Bezug auf Materialien (10) aufgenommen wurden, die demselben Materialstrom zugeordnet wurden, akkumuliert werden,

wobei insbesondere vorgesehen ist, dass eine Akkumulation aller Gamma-Messwerte oder Betastrahlungs-Messwerte vorgenommen wird, die demselben Behälter (4; 4a, ..., 4d) zugeführt werden.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die für die jeweils in denselben Behälter (4; 4a, ..., 4d) geförderten Materialien (10) ermittelten Messwerte, insbesondere die Ergebnisse der Gamma-Spektralmessung für eine Anzahl von unterschiedlichen Teilchenenergien, akkumuliert werden, wobei eine massenspezifische Messgröße für jeden Behälter (4; 4a, ..., 4d) ermittelt wird, und wobei ein akkumulierter Messwert, insbesondere die spezifische Aktivität, bestimmter interessierender radioaktiver Nuklide für den jeweiligen Behälter (4; 4a, ..., 4d) abgeleitet wird.

13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in einem ersten Sortierdurchlauf als kontaminiert und/oder nicht kontaminiert erkannt und von der zumindest einen Selektionseinrichtung (3; 3a, ..., 3d) an einen diesbezüglichen Materialstrom weitergeleiteten Materialien (10) in zumindest einem erneuten Sortierdurchlauf auf der Fördereinrichtung (1) gefördert und in Hinblick auf zumindest eine Form von ionisierender Strahlung vermessen werden,

wobei jeweils erneut ein Auswahlsignal für die jeweilige Selektionseinrichtung (3) in Abhängigkeit von demjenigen Messwert oder denjenigen Messwerten ermittelt wird, der oder die dem im Bereich der Selektionseinrichtung (3) befindlichen Teil der Materialien (10) zugeordnet wurde.

14. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Erstellung des Auswahlsignals und die Weiterleitung der geförderten Materialien (10) an einen der zumindest zwei Materialströme in Abhängigkeit vom Auswahlsignal diskontinuierlich für vorgegebene Mengeneinheiten, insbesondere batchweise, oder kontinuierlich erfolgt.

15. Förderanlage (100) zum Behandeln und Sortieren von potentiell mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Materialien (10), insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 14, umfassend

- eine, insbesondere kontinuierlich laufende, Fördereinrichtung (1) zum Befördern von unsortierten Materialien (10),
- zumindest einen Sensor (2), der auf die Fördereinrichtung (1) gerichtet ist und dazu ausgebildet ist, einzelne Bereiche der unsortierten Materialien (10) im Zuge der Beförderung auf der Fördereinrichtung (1) in Hinblick auf zumindest eine Form von ionisierender Strahlung zu vermessen,
- zumindest eine Selektionseinrichtung (3), der die geförderten Materialien (10) an einer Position der Fördereinrichtung (1), insbesondere an deren Ende, zugeführt werden, wobei die Selektionseinrichtung (3) dazu ausgebildet ist, die bei ihr einlangenden geförderten Materialien (10) in Abhängigkeit von einem Auswahlsignal an einen von zumindest zwei Materialströmen weiterzuleiten und
- eine dem zumindest einen Sensor (2) nachgeschaltete und mit der zumindest einen Selektionseinrichtung (3) verbundene Steuer- und Verarbeitungseinheit (5), wobei die Steuer- und Verarbeitungseinheit (5) dazu ausgebildet ist,
  - die von dem zumindest einen Sensor (2) ermittelten Messwerte zwischenspeichern und demjenigen Bereich der geförderten Materialien (10) zuzuordnen, der sich zum Aufnahmezeitpunkt im Messbereich des den Messwert ermittelnden Sensors (2; 21) befindet,
  - ein Auswahlsignal in Abhängigkeit von demjenigen Messwert oder denjenigen Messwerten zu ermitteln, der oder die dem im Bereich der Selektionseinrichtung (3) befindlichen Teil der Materialien (10) zugeordnet wurde, und
  - das jeweilige Auswahlsignal an die zumindest eine Selektionseinrichtung (3) weiterzuleiten,

dadurch gekennzeichnet,

- dass eine Vielzahl von gleichartigen Sensoren (2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d) vorgesehen ist, wobei der Aufnahmebereich jedes der Sensoren (2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d) jeweils nur einen Teilbereich der Breite der Fördereinrichtung (1) abdeckt, dass eine Vielzahl von separaten Selektionseinrichtungen (3a, ..., 3d) vorgesehen ist, wobei jede Selektionseinrichtung (3a, ..., 3d) jeweils einem der Sensoren (2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d) zugeordnet ist und die einander zugeordneten Selektionseinrichtungen (3a, ..., 3d) und Sensoren (2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d) jeweils denselben Teilbereich der Breite der Fördereinrichtung (1) abdecken, und dass die Steuer- und Verarbeitungseinheit (5) dazu ausgebildet ist, die einzelnen Auswahlsignale für die Selektionseinrichtungen (3a, ..., 3d) jeweils aufgrund der zwischengespeicherten Messwerte des jeweiligen der Selektionseinrichtung (3a, ..., 3d) zugeordneten Sensors (2a, ..., 2d; 21a, ..., 21d) zu ermitteln

und/oder

- dass für die oder für jede Selektionseinrichtung (3; 3a, ..., 3d) eine Mehrzahl von in Transportrichtung (T) hintereinander befindlichen, für unterschiedliche Strahlungsarten und/oder Energiebereiche sensitiven Sensoren (2; 2a, ..., 2d; 21; 21a, ..., 21d) vorgesehen ist, wobei die Sensoren (2; 2a, ..., 2d; 21; 21a, ..., 21d) jeweils dazu ausgebildet sind, Messwerte in Bezug auf Bereiche der geförderten Materialien (10) zu ermitteln, die jeweils zu einer Selektionseinrichtung (3; 3a, ..., 3d) gelangen, und  
dass die Steuer- und Verarbeitungseinheit (5) dazu ausgebildet ist, die einzelnen Messwerte, die jeweils demselben Bereich von geförderten Materialien (10) zugeordnet sind, gemeinsam abzuspeichern und bei der Bildung des Auswahlsignals für die Betätigung der jeweiligen Selektionseinrichtung (3; 3a, ..., 3d) heranzuziehen.

16. Förderanlage (100) nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuer- und Verarbeitungseinheit (5) dazu ausgebildet ist, ein Auswahlsignal nach einem der Ansprüche 2 bis 5 und/oder einen Messwert nach einem der Ansprüche 6 bis 12 zu ermitteln.

17. Förderanlage (100) nach einem der Ansprüche 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuer- und Verarbeitungseinheit (5) dazu ausgebildet ist, das Auswahlsignal diskontinuierlich für vorgegebene Mengeneinheiten, insbesondere batchweise, oder kontinuierlich zu erstellen und  
dass die zumindest eine Selektionseinrichtung (3) dazu ausgebildet ist, die geförderten Materialien (10) diskontinuierlich in vorgegebenen Mengeneinheiten, insbesondere batchweise, oder kontinuierlich an einen der zumindest zwei Materialströme in Abhängigkeit vom Auswahlsignal weiterzuleiten.