

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
29. Dezember 2016 (29.12.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/207262 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G01N 15/14 (2006.01) *G01N 21/64* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/064492
- (22) Internationales Anmeldedatum:
23. Juni 2016 (23.06.2016)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2015 110 316.8 26. Juni 2015 (26.06.2015) DE
- (71) Anmelder: FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG
E.V. [DE/DE]; Hansastr. 27c, 80686 München (DE).
- (72) Erfinder: BASSLER, Michael; Im Borner Grund 10,
55127 Mainz (DE). QUINT, Stephan; Kolmarer Straße
16, 44137 Dortmund (DE).
- (74) Anwalt: 2SPL PATENTANWÄLTE PARTG MBB;
Postfach 15 17 23, 80050 München (DE).

- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,
MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM,
PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,
SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: APPARATUSES, CYTOMETER, METHOD AND COMPUTER PROGRAM FOR PROVIDING INFORMATION
ABOUT AT LEAST ONE SEQUENCE

(54) Bezeichnung : VORRICHTUNGEN, ZYTOMETER, VERFAHREN UND COMPUTERPROGRAMM ZUM
BEREITSTELLEN VON INFORMATION ÜBER ZUMINDEST EINE SEQUENZ

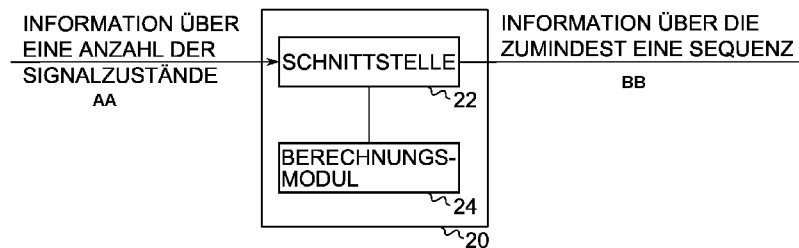


Fig. 1

AA INFORMATION ABOUT A NUMBER OF THE SIGNAL STATES
BB INFORMATION ABOUT THE AT LEAST ONE SEQUENCE
22 INTERFACE
24 COMPUTATION MODULE

(57) Abstract: Embodiments are concerned with an apparatus (20), a method and a computer program for providing information about at least one sequence, wherein the at least one sequence describes temporally successive signal states, having an apparatus (10), a method and a computer program for a cytometer (100) for providing information about one or more cells in a medium in a canal, and having a cytometer (100). The apparatus (20) comprises an interface (22) that is designed to obtain information about a number of the signal states. The apparatus (20) further comprises a computation module (24) that is designed to generate a plurality of possible sequences, based on the information about the number of signal states. The computation module (24) is further designed to compute, for at least a subset of the possible sequences, correlation functions between a sequence and at least one temporal scaling of the sequence, wherein a correlation function comprises a main maximum and one or more secondary maxima. The computation module (24) is further designed to determine the at least one sequence based on the correlation functions, wherein the succession of the signal states within the at least one sequence is chosen such that a secondary maximum in a correlation function of the sequence with the at least one temporal scaling of the sequence is reduced in comparison with a secondary maximum attainable as a maximum in a correlation function by different arrangements of the signal states in the sequence, and to determine the information about the at least one sequence based on the at least one sequence and to provide that information via the interface (22).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2016/207262 A1

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Ausführungsbeispiele befassen sich mit einer Vorrichtung (20), einem Verfahren und einem Computerprogramm zum Bereitstellen von Information über zumindest eine Sequenz, wobei die zumindest eine Sequenz zeitlich aufeinanderfolgende Signalzustände beschreibt, mit einer Vorrichtung (10), einem Verfahren und einem Computerprogramm für ein Zytometer (100) zur Bereitstellung von Information über ein oder mehrere Zellen in einem Medium in einem Kanal, und mit einem Zytometer (100). Die Vorrichtung (20) umfasst eine Schnittstelle (22), die ausgebildet ist, um Information über eine Anzahl der Signalzustände zu erhalten. Die Vorrichtung (20) umfasst ferner ein Berechnungsmodul (24), welches ausgebildet ist, um eine Mehrzahl von möglichen Sequenzen zu generieren, basierend auf der Information über die Anzahl der Signalzustände. Das Berechnungsmodul (24) ist ferner ausgebildet, um für zumindest eine Teilmenge der möglichen Sequenzen Korrelationsfunktionen zwischen einer Sequenz und zumindest einer zeitlichen Skalierung der Sequenz zu berechnen, wobei eine Korrelationsfunktion ein Hauptmaximum und ein oder mehrere Nebenmaxima umfasst. Das Berechnungsmodul (24) ist ferner ausgebildet, um die zumindest eine Sequenz basierend auf den Korrelationsfunktionen zu bestimmen, wobei die Folge der Signalzustände innerhalb der zumindest einen Sequenz derart gewählt ist, dass ein Nebenmaximum in einer Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz gegenüber einem durch unterschiedliche Anordnungen der Signalzustände in der Sequenz maximal in einer Korrelationsfunktion erzielbaren Nebenmaximum reduziert ist, und um die Information über die zumindest eine Sequenz basierend auf der zumindest einen Sequenz zu bestimmen und über die Schnittstelle (22) bereitzustellen.

Vorrichtungen, Zytometer, Verfahren und Computerprogramm zum Bereitstellen von Information über zumindest eine Sequenz

Technisches Gebiet

Ausführungsbeispiele befassen sich mit einer Vorrichtung, einem Verfahren und einem Computerprogramm zum Bereitstellen von Information über zumindest eine Sequenz, mit einer Vorrichtung, einem Verfahren und einem Computerprogramm für ein Zytometer zur Bereitstellung von Information über ein oder mehrere Zellen in einem Medium in einem Kanal, und mit einem Zytometer.

Hintergrund

In der medizinischen und biologischen Forschung und in der Analyse und Erkennung von Krankheiten basieren viele Erkenntnisse auf einem Analysieren von Zellen. Für die Analyse großer Mengen von Zellen kommen oft Durchflusszytometer zum Einsatz. In einem Durchflusszytometer werden Zellen in einer Lösung mit einer hohen Geschwindigkeit durch einen Kanal geleitet. Diese Zellen senden ein optisches Signal aus, beispielsweise angeregt durch eine Lichtquelle, etwa einen Laser. Dieses optische Signal wird von dem Durchflusszytometer erfasst und ermöglicht eine Bestimmung der Eigenschaften der Zellen in der Lösung, etwa die Anzahl von bestimmten Zelltypen, oder ihre Größe und andere Eigenschaften.

Eine Weiterentwicklung der Durchflusszytometrie basiert auf dem Prinzip der Räumlich Modulierten Frequenz (RMF). In konventionellen Flusszytometern wird der Kanal, in dem die Lösung mit den Zellen am Sensor vorbeigeführt wird, so verengt, dass die Zellen den Sensor einzeln passieren. Dabei sind hochpräzise Optiken für den Detektor und den Laser für die Anregung und Erfassung der einzelnen Zellen nötig, die einen komplexen Aufbau und großen Platzbedarf des Flusszytometers bedingen. Durchflusszytometer, die auf dem Prinzip der Räumlich Modulierten Frequenz basieren, können jedoch den Durchfluss mehrerer Zellen gleichzeitig unterstützen, beispielsweise bei einer geringeren Komplexität des optischen Aufbaus. Die Zellen in Lösung im Kanal werden gleichzeitig angeregt, beispielsweise von einem Laser, und das emittierte Licht wird von einem räumlichen Filter, etwa einer Filtermaske, beeinflusst. Der räumliche Filter sorgt dafür, dass der Sensor für jede angeregte Zelle ein Signal

basierend auf dem Filter erfasst. Durch eine Analyse des Signals, welches von den Signalen anderer Zellen überlagert sein kann, kann das Zytometer eine Anzahl, Geschwindigkeit und andere Eigenschaften der Zellen in der Lösung bestimmen. Die Qualität der Erkennung der Zellen und Zelleigenschaften basiert dabei auf dem Filter, welcher sich beispielsweise durch eine Sequenz zeitlich aufeinanderfolgende Signalzustände beschreiben lässt.

Weitere Informationen können beispielsweise in folgenden Dokumenten gefunden werden:

P. Kiesel, M. Bassler, M. Beck and N. Johnson, Appl. Phys. Lett., 2009, 94, p. 41107;

N. Levanon and E. Mozeson, Radar Signals, Wiley, New York, 2004;

R. Turyn and S. Storer, On binary sequences, Proceedings of the American Mathematical Society 12, 394 (1961);

S. Mertens, Exhaustive search for low-autocorrelation binary sequences, Journal of Physics A: Mathematical and General 29, L473 (1996);

G. E. Coxson and J. C. Russo, Efficient exhaustive search for optimal-peak-sidelobe binary codes, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems 41, 302 (2005);

P. Borewein, R. Ferguson, and J. Knauer, The merit factor problem, 2000;

C. J. Nunn and G. E. Coxson, Best-known autocorrelation peak sidelobe levels for binary codes of length 71 to 105, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems 44, 392 (2008); und

S. K. Shanmugam, C. Mongrédien, J. Nielsen, and G. Lachapelle, Design of short synchronization codes for use in future GNSS system, International Journal of Navigation and Observation 2008 (2008), Article ID 246703.

Es besteht mithin der Bedarf, Sequenzen zu finden, mit denen sich die Erkennung der Zellen verbessern lässt. Diesem Bedarf wird durch eine Vorrichtung, ein Verfahren und eine Computerprogramm zum Bereitstellen von Information über zumindest eine Sequenz Rechnung getragen.

Zusammenfassung

Ausführungsbeispiele beruhen auf der Erkenntnis, dass Sequenzen, die in einem Zytometer genutzt werden, das auf RMF basiert, vorteilhafte Eigenschaften aufweisen, wenn sie nicht nur in einer Autokorrelationsfunktion bzw. Korrelationsfunktion mit einer amplitudenskalierten Variante reduzierte Nebenmaxima aufweisen, sondern auch Nebenmaxima in

Kreuzkorrelationsfunktionen der Sequenz mit zeitlichen Skalierungen der Sequenz reduziert sind. Die Reduktion der Nebenmaxima der Kreuzkorrelationsfunktion kann dabei eine verbesserte Erkennung von verschiedenen schnellen Zellen ermöglichen. Ausführungsbeispiele können ferner auf der Erkenntnis basieren, dass Sequenzen, die in einem Zytometer genutzt werden, das auf RMF basiert, vorteilhafte Eigenschaften aufweisen, wenn sie unipolar sind und/oder wenn die Korrelationsfunktionen basierend auf balancierten Filtern bestimmt werden.

Ausführungsbeispiele schaffen eine Vorrichtung zum Bereitstellen von Information über zumindest eine Sequenz. Die zumindest eine Sequenz beschreibt zeitlich aufeinanderfolgende Signalzustände. Die Vorrichtung umfasst eine Schnittstelle, die ausgebildet ist, um Information über eine Anzahl der Signalzustände zu erhalten. Die Vorrichtung umfasst ferner ein Berechnungsmodul, welches ausgebildet ist, um eine Mehrzahl von möglichen Sequenzen zu generieren, basierend auf der Information über die Anzahl der Signalzustände. Das Berechnungsmodul ist ferner ausgebildet, um für zumindest eine Teilmenge der möglichen Sequenzen Korrelationsfunktionen zwischen einer Sequenz und zumindest einer zeitlichen Skalierung der Sequenz zu berechnen. Eine Korrelationsfunktion umfasst ein Hauptmaximum und ein oder mehrere Nebenmaxima. Das Berechnungsmodul ist ferner ausgebildet, die zumindest eine Sequenz basierend auf den Korrelationsfunktionen zu bestimmen. Die Folge der Signalzustände innerhalb der zumindest einen Sequenz ist derart gewählt, dass ein Nebenmaximum in einer Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz gegenüber einem durch unterschiedliche Anordnungen der Signalzustände in der Sequenz maximal in einer Korrelationsfunktion erzielbaren Nebenmaximum reduziert ist. Das Berechnungsmodul ist ferner ausgebildet, um die Information über die zumindest eine Sequenz basierend auf der zumindest einen Sequenz zu bestimmen und über die Schnittstelle bereitzustellen. Die zumindest eine Sequenz kann in Ausführungsbeispielen genutzt werden, um die Erkennung von zeitlich skalierten Signalen mittels einer Filterbank zu verbessern, und um Nebenmaxima einer Korrelationsfunktion einer empfangenen Sequenz und zeitlich skalierten Sequenzen zu reduzieren und damit Fehlerkennungen zu reduzieren.

In einigen Ausführungsbeispielen kann das Berechnungsmodul ausgebildet sein, um die zumindest eine Sequenz basierend auf den Korrelationsfunktionen zu bestimmen. Die Folge der Signalzustände innerhalb der zumindest einen Sequenz könnte derart gewählt sein, dass eine Summe, die auf den Nebenmaxima einer Korrelationsfunktion der Sequenz mit der

zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz basiert, gegenüber einer durch unterschiedliche Anordnungen der Signalzustände in der Sequenz maximal erzielbaren Summe, die auf aus der unterschiedlichen Anordnung resultierenden Nebenmaxima basiert, reduziert ist. Die Folge der Signalzustände innerhalb der zumindest einen Sequenz könnte derart gewählt sein, dass ein größtes Nebenmaximum in der Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz gegenüber einem durch unterschiedliche Anordnungen der Signalzustände in der Sequenz maximal erzielbaren größten Nebenmaximum reduziert ist. Eine Reduzierung einer Summe, die auf den Nebenmaxima einer Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz basiert, kann beispielsweise in der Erkennung mittels einer Filterbank ein Grundrauschen in der Korrelationsanalyse reduzieren und/oder bei stark verrauschten Signalen eine geringere Fehlerkennungsrate ergeben, da eine Gesamtenergie in den Nebenmaxima geringer ist als bei Sequenzen, die auf eine Reduzierung des höchsten Nebenmaximums optimiert sind. Eine Reduzierung eines höchsten Nebenmaximums kann beispielsweise in der Erkennung mittels einer Filterbank Fehlerkennungen reduzieren, und/oder könnte eine Nutzung niedriger Schwellenwerte, d.h. höhere Sensitivität, bei gleicher Fehlerrate, ermöglichen.

In zumindest manchen Ausführungsbeispielen könnte das Berechnungsmodul ausgebildet sein, um die zumindest eine Sequenz so zu bestimmen, dass die Summe, die auf den Nebenmaxima basiert, unter einem ersten Schwellenwert liegt. Das Berechnungsmodul könnte ausgebildet sein, um die zumindest eine Sequenz so zu bestimmen, dass das größte Nebenmaximum unter einem zweiten Schwellenwert liegt. In Ausführungsbeispielen könnte der erste und/oder der zweite Schwellenwert genutzt werden, um eine Bestimmung der Sequenz zu beschleunigen und/oder um bestimmte Sequenzen zu evaluieren.

In manchen Ausführungsbeispielen könnte der erste Schwellenwert einer zweitniedrigsten Summe, die auf den Nebenmaxima der Korrelationsfunktionen basiert, entsprechen. Der zweite Schwellenwert könnte einem größten Nebenmaximum einer Sequenz mit einem zweitniedrigsten größten Nebenmaximum der Korrelationsfunktionen entsprechen. Durch die Wahl der zweitniedrigsten Summe und des zweitniedrigsten größten Nebenmaximums als ersten und zweiten Schwellenwert kann das Bestimmen einer Sequenz, deren Korrelationsfunktion eine niedrigste Summe oder ein niedrigstes größtes Nebenmaximum ergibt, ermöglicht werden, beispielsweise auch rekursiv.

In zumindest einigen Ausführungsbeispielen könnte das Berechnungsmodul ausgebildet sein, um bereinigte Korrelationsfunktionen basierend auf den Korrelationsfunktionen zu bestimmen. Das Berechnungsmodul könnte ausgebildet sein, um einen Beitrag von Hauptmaxima in den bereinigten Korrelationsfunktionen zu reduzieren. Das Berechnungsmodul könnte ausgebildet sein, um die Information über die zumindest eine Sequenz basierend auf den bereinigten Korrelationsfunktionen zu bestimmen. Die Reduzierung des Beitrags der Hauptmaxima in den bereinigten Korrelationsfunktionen könnte eine Analyse der ein oder mehreren Nebenmaxima erleichtern und könnte einer Erkennung und Reduzierung der Hauptmaxima in einem Zytometer entsprechen.

In manchen Ausführungsbeispielen könnte das Berechnungsmodul ausgebildet sein, um unter den Hauptmaxima der Korrelationsfunktionen ein größtes Hauptmaximum zu bestimmen. Das Berechnungsmodul könnte ausgebildet sein, um über die zeitliche Ausdehnung des größten Hauptmaximums den Beitrag der Hauptmaxima in den bereinigten Korrelationsfunktionen zu reduzieren. Eine Reduzierung des Beitrags der Hauptmaxima über die zeitliche Ausdehnung des Hauptmaximums könnte einfacher numerisch umzusetzen sein.

In einigen Ausführungsbeispielen könnte das Berechnungsmodul ausgebildet sein, um basierend auf einer zeitlichen Position des größten Hauptmaximums und basierend auf der Korrelationsfunktion der zeitlich skalierten Sequenz die das größte Hauptmaximum umfasst, die Beiträge der Hauptmaxima in den bereinigten Korrelationsfunktionen der zeitlich skalierten Sequenz und benachbarten zeitlichen Skalierungen der Sequenz zu bestimmen und zu reduzieren. Durch die Reduzierung der Beiträge der Hauptmaxima in den bereinigten Korrelationsfunktionen der zeitlich skalierten Sequenz und benachbarten zeitlichen Skalierungen der Sequenz könnte beispielsweise eine genauere Isolierung der Hauptmaxima erreicht werden und Doppelereignisse könnten unterstützt werden.

In zumindest einigen Ausführungsbeispielen könnte eine Sequenz eine mittlere Strukturgröße haben. Eine Strukturgröße könnte auf einer Anzahl von gleichen aufeinanderfolgenden Signalzuständen basieren. Das Berechnungsmodul könnte ausgebildet sein, um die Mehrzahl von möglichen Sequenzen basierend auf einem Zielbereich für die mittlere Strukturgröße zu generieren. Das Berechnungsmodul könnte ausgebildet sein, die Teilmenge der möglichen Sequenzen basierend auf der mittleren Strukturgröße und/oder dem Zielbereich für die mittlere Strukturgröße zu bestimmen. Eine Bestimmung der Teilmenge der möglichen Sequenzen

basierend auf der mittleren Strukturgröße könnte beispielsweise ein Bestimmen der zumindest einen Sequenz beschleunigen und einen Berechnungsaufwand für das Bestimmen der zumindest einen Sequenz reduzieren.

In zumindest manchen Ausführungsbeispielen könnte die mittlere Strukturgröße einem Durchschnitt der Strukturgrößen einer Sequenz entsprechen. Der Zielbereich für die mittlere Strukturgröße könnte beispielsweise zwischen 1,3 und 1,8 liegen. Eine Bestimmung der Teilmenge der möglichen Sequenzen basierend auf der mittleren Strukturgröße und dem Zielbereich könnte beispielsweise ein Bestimmen der zumindest einen Sequenz beschleunigen und einen Berechnungsaufwand für das Bestimmen der zumindest einen Sequenz reduzieren.

In zumindest manchen Ausführungsbeispielen kann das Berechnungsmodul ausgebildet sein, um die Mehrzahl von möglichen Sequenzen als unipolare Sequenzen zu bestimmen. Durch eine Nutzung von unipolaren Sequenzen könnte ein verbessertes Hauptmaximum zu Nebenmaxima-Verhältnis erreicht werden.

In einigen Ausführungsbeispielen könnte eine Sequenz einer Binärsequenz entsprechen. Die Binärsequenz könnte zeitlich äquidistante aufeinanderfolgende Signalzustände beschreiben. Die Nutzung einer Binärsequenz könnte beispielsweise eine einfache Notation der Sequenz ermöglichen.

Ausführungsbeispiele stellen ferner eine Vorrichtung für ein Zytometer bereit. Die Vorrichtung ist ausgebildet zur Bereitstellung von Information über ein oder mehrere Zellen in einem Medium in einem Kanal. Die Vorrichtung umfasst ein Sensormodul, das ausgebildet ist, um ein gefiltertes Signal zu erfassen. Das gefilterte Signal wird von den durch den Kanal strömenden Zellen beeinflusst. Die Vorrichtung umfasst ferner ein Filter, das ausgebildet ist, um eine vorgegebene Sequenz räumlich abzubilden, und ausgebildet ist, um basierend auf der Sequenz und einem von den durch den Kanal strömenden Zellen beeinflussten Signal das gefilterte Signal bereitzustellen. Die Vorrichtung umfasst ferner ein Kontrollmodul das ausgebildet ist, um die Information über die ein oder mehreren Zellen basierend auf einer Korrelationsanalyse des erfassten gefilterten Signals und zumindest einer zeitlichen Skalierung der Sequenz bereitzustellen. Die Sequenz beschreibt zeitlich aufeinanderfolgende Signalzustände. Die Folge der Signalzustände innerhalb der Sequenz ist derart gewählt, dass ein Nebenmaximum in einer Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz

gegenüber einem durch unterschiedliche Anordnungen der Signalzustände in der Sequenz maximal erzielbaren Nebenmaximum in der Korrelationsfunktion reduziert ist. Die Sequenz kann in Ausführungsbeispielen genutzt werden, um die Erkennung von zeitlich skalierten Signalen mittels einer Filterbank, welche beispielsweise im Kontrollmodul umfasst sein könnte, zu verbessern, und um Nebenmaxima einer Korrelationsfunktion einer empfangenen Sequenz und zeitlich skalierten Sequenzen zu reduzieren und damit Fehlerkennungen zu reduzieren.

In einigen Ausführungsbeispielen könnte eine Folge der Signalzustände innerhalb der zumindest einen Sequenz derart gewählt sein, dass eine Summe, die auf Nebenmaxima der Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz basiert, gegenüber einer durch unterschiedliche Anordnungen der Signalzustände in der Sequenz maximal erzielbaren Summe, die auf aus der unterschiedlichen Anordnung resultierenden Nebenmaxima basiert, reduziert ist. Die Folge der Signalzustände innerhalb der zumindest einen Sequenz könnte derart gewählt sein, dass ein größtes Nebenmaximum der Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz gegenüber einem durch unterschiedliche Anordnungen der Signalzustände in der Sequenz maximal erzielbaren größten Nebenmaximum reduziert ist. Eine Reduzierung einer Summe, die auf den Nebenmaxima einer Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz basiert, könnte beispielsweise in der Erkennung mittels einer Filterbank ein Grundrauschen in der Korrelationsanalyse reduzieren. Eine Reduzierung eines höchsten Nebenmaximums könnte beispielsweise in der Erkennung mittels einer Filterbank Fehlerkennungen reduzieren.

In manchen Ausführungsbeispielen könnte die Summe, die auf den Nebenmaxima basiert, unter einem ersten Schwellenwert liegen. Das größte Nebenmaximum könnte unter einem zweiten Schwellenwert liegen. In Ausführungsbeispielen kann der erste und/oder der zweite Schwellenwert genutzt werden, um eine Bestimmung der Sequenz zu beschleunigen und/oder um bestimmte Sequenzen zu evaluieren.

In zumindest einigen Ausführungsbeispielen könnte der erste Schwellenwert einer zweitniedrigsten Summe, die auf Nebenmaxima von Korrelationsfunktionen möglicher Sequenzen basiert, entsprechen. Der zweite Schwellenwert könnte einem größten Nebenmaximum einer Sequenz mit einem zweitniedrigsten größten Nebenmaximum der Korrelationsfunktionen entsprechen. Durch die Wahl der zweitniedrigsten Summe und des

zweitniedrigsten größten Nebenmaximums als ersten und zweiten Schwellenwert könnte das Bestimmen einer Sequenz, deren Korrelationsfunktion eine niedrigste Summe oder ein niedrigstes größtes Nebenmaximum ergibt, ermöglicht werden, beispielsweise auch rekursiv.

In manchen Ausführungsbeispielen könnte die Sequenz einer unipolaren Sequenz entsprechen. Durch eine Nutzung einer unipolaren Sequenz könnte ein verbessertes Hauptmaximum zu Nebenmaxima-Verhältnis erreicht werden.

Ausführungsbeispiele schaffen ferner ein Zytometer, welches die Vorrichtung sowie einen Kanal umfasst. Die Vorrichtung ist ausgebildet, um Information über ein oder mehrere Zellen in einem Medium in dem Kanal dem Zytometer bereitzustellen. Die Vorrichtung, welche die Sequenz nutzt, könnte in Ausführungsbeispielen genutzt werden, um die Erkennung von zeitlich skalierten Signalen, etwa optischen Signalen der Zellen im Kanal, mittels einer Filterbank, welche beispielsweise im Kontrollmodul der Vorrichtung umfasst sein könnte, zu verbessern, und um Nebenmaxima einer Korrelationsfunktion einer empfangenen Sequenz und zeitlich skalierten Sequenzen zu reduzieren und damit Fehlerkennungen zu reduzieren.

Ausführungsbeispiele schaffen ferner ein Verfahren zum Bereitstellen von Information über zumindest eine Sequenz. Die zumindest eine Sequenz beschreibt zeitlich aufeinanderfolgende Signalzustände. Das Verfahren umfasst Erhalten von Information über eine Anzahl der Signalzustände. Das Verfahren umfasst ferner Generieren einer Mehrzahl von möglichen Sequenzen, basierend auf der Information über die Anzahl der Signalzustände. Das Verfahren umfasst ferner Berechnen von Korrelationsfunktionen zwischen einer Sequenz und zumindest einer zeitlichen Skalierung der Sequenz für zumindest eine Teilmenge der möglichen Sequenzen. Eine Korrelationsfunktion umfasst ein Hauptmaximum und ein oder mehrere Nebenmaxima. Das Verfahren umfasst ferner Bestimmen der zumindest einen Sequenz basierend auf den Korrelationsfunktionen. Die Folge der Signalzustände innerhalb der zumindest einen Sequenz ist derart gewählt, dass ein Nebenmaximum in einer Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz gegenüber einem durch unterschiedliche Anordnungen der Signalzustände in der Sequenz maximal in einer Korrelationsfunktion erzielbaren Nebenmaximum reduziert ist. Das Verfahren umfasst ferner Bestimmen der Information über die zumindest eine Sequenz basierend auf der zumindest einen Sequenz, und Bereitstellen der Information über die zumindest eine Sequenz.

Ausführungsbeispiele schaffen ferner ein Verfahren zur Bereitstellung von Information über ein oder mehrere Zellen in einem Medium in einem Kanal. Die Vorrichtung umfasst Erfassen eines gefilterten Signals. Das gefilterte Signal wird von den durch den Kanal strömenden Zellen beeinflusst. Das Verfahren umfasst ferner Bereitstellen des gefilterten Signals basierend auf einer vorgegebenen Sequenz, einem von den durch den Kanal strömenden Zellen beeinflussten Signal und einer räumlichen Abbildung der Sequenz. Das Verfahren umfasst ferner Bereitstellen der Information über die ein oder mehreren Zellen basierend auf einer Korrelationsanalyse des erfassten gefilterten Signals und zumindest einer zeitlichen Skalierung der Sequenz. Die Sequenz beschreibt zeitlich aufeinanderfolgende Signalzustände. Die Folge der Signalzustände innerhalb der Sequenz ist derart gewählt, dass ein Nebenmaximum in einer Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz gegenüber einem durch unterschiedliche Anordnungen der Signalzustände in der Sequenz maximal erzielbaren Nebenmaximum in der Korrelationsfunktion reduziert ist.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel ist ein Computerprogramm zur Durchführung zumindest eines der oben beschriebenen Verfahren, wenn das Computerprogramm auf einem Computer, einem Prozessor oder einer programmierbaren Hardwarekomponente abläuft. Ein weiteres Ausführungsbeispiel ist auch ein digitales Speichermedium, das maschinen- oder computerlesbar ist, und das elektronisch lesbare Steuersignale aufweist, die mit einer programmierbaren Hardwarekomponente so zusammenwirken können, dass eines der oben beschriebenen Verfahren ausgeführt wird.

Figurenkurzbeschreibung

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen werden nachfolgend anhand der in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiele, auf welche Ausführungsbeispiele generell jedoch nicht insgesamt beschränkt sind, näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 zeigt ein Blockdiagramm eines Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung zum Bereitstellen von Information über zumindest eine Sequenz;

Fig. 2 zeigt ein Diagramm des Prinzips der Räumlich Modulierten Fluoreszenz;

- Fig. 3 zeigt ein Diagramm einer zeitlichen und räumlichen Abbildung einer Sequenz;
- Fig. 4 zeigt ein Filter und ein Korrelationssignal mit Hauptpeak, Gleichanteil und niederfrequentem Untergrund;
- Fig. 5 zeigt ein Balanciertes Filter für eine Sequenz LABS26 und Ausgangssignal mit Hauptmaximum und Nebenmaxima;
- Fig. 6 zeigt eine laterale Transportgeschwindigkeit von Zellen in einem fluidischen Flussprofil in einem Kanal;
- Fig. 7 zeigt eine balancierte Filterung eines Eingangssignals mit einer Vielzahl von Filtern;
- Fig. 8 zeigt für die Sequenz LABS26 einen bipolaren, gleichanteilfreien Signalverlauf, einen Filterverlauf und ein Ausgangssignal;
- Fig. 9 zeigt ein unipolares, gleichanteilbehaftetes Signal, einen Filterverlauf und ein Ausgangssignal für die Sequenz Q1DP26(12,#1);
- Fig. 10 zeigt einen Vergleich der Qualitätsmesszahl $Q1DI$ für Sequenzen aus einer Klasse von LABS und ULABS;
- Fig. 11 zeigt in einem beispielhaften Ausführungsbeispiel die jeweils besten untersuchten Sequenzen aus einer Klasse von LABS und ULABS bewertet nach einer Qualitätsmesszahl $Q1DI$;
- Fig. 12 zeigt einen Vergleich einer Qualitätsmesszahl $Q1DP$ für Sequenzen aus einer Klasse von LABS und ULABS;
- Fig. 13 zeigt in einem beispielhaften Ausführungsbeispiel die jeweils besten Sequenzen aus einer Klasse von LABS und ULABS bewertet nach einer Qualitätsmesszahl $Q1DP$;

- Fig. 14 zeigt einen Vergleich der jeweils besten untersuchten Sequenzen aus Ausführungsbeispielen mit $L=33$ bezüglich der Qualitätsmesszahlen $Q1DP$ und $Q1DI$;
- Fig. 15 zeigt einen Vergleich von 2D quadrierten Korrelationskanälen für ausgewählte Geschwindigkeitskanäle für LABS26(16,#2) und Q2DPs26(15,#2);
- Fig. 16a und Fig. 16b zeigen ein Ausschneiden der Hauptmaxima zum Bestimmen der bereinigten Korrelationsfunktionen in Ausführungsbeispielen beispielhaft für ULABS-Q2DPs31(16,#1);
- Fig. 17a und Fig. 17b zeigen ein Ausschneiden der Hauptmaxima zum Bestimmen der bereinigten Korrelationsfunktionen in Ausführungsbeispielen für LABS-Q2DPs31(19,#1);
- Fig. 18 zeigt einen Vergleich der Qualitätsmesszahl $Q2DPs$ für bekannte LABS und Beispiele aus der Klasse von ULABS aus Ausführungsbeispielen;
- Fig. 19 zeigt eine beispielhafte Auflistung von jeweils besten untersuchten Sequenzen aus der Klasse von LABS und ULABS bewertet nach der Qualitätsmesszahl $Q2DPs$;
- Fig. 20 zeigt einen Vergleich der Qualitätsmesszahl $Q2DP$ für bekannte LABS und Beispiele aus der Klasse von Sequenzen „ULABS“ aus Ausführungsbeispielen;
- Fig. 21 zeigt eine beispielhafte Auflistung von jeweils besten untersuchten Codes aus der Klasse von LABS und ULABS bewertet nach der Qualitätsmesszahl $Q2DP$;
- Fig. 22 zeigt eine beispielhafte Eingangsverteilung;
- Fig. 23 zeigt eine beispielhafte Ausgangsverteilung für LABS26(16,#2) mit einer Positiverkennungsrate von 99,6%;
- Fig. 24 zeigt eine beispielhafte Ausgangsverteilung für Q2DPs26(15,#2) mit einer Positiverkennungsrate von 99,8%;

- Fig. 25 zeigt eine beispielhafte Ausgangsverteilung für Q1DI26(14,#1) mit einer Positiverkennungsrate von 99,8%;
- Fig. 26 zeigt eine beispielhafte Ausgangsverteilung für B13Man26(13) mit einer Positiverkennungsrate von 99,8%.
- Fig. 27 zeigt beispielhaft eine Erkennungsrate als Funktion des mittleren Partikelabstandes in Einheiten der Maskenlänge;
- Fig. 28 zeigt eine Fehlerkennungsrate von Ausführungsbeispielen im Rauschen als Funktion des mittleren Partikelabstandes in Einheiten der Maskenlänge
- Fig. 29 zeigt einen beispielhaften Vergleich einer Nebenmaximahäufigkeit;
- Fig. 30 zeigt eine mittlere Strukturgröße für die besten untersuchten 2D-Codes gemäß eines Qualitätskriteriums aus Ausführungsbeispielen und LABS;
- Fig. 31 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung für ein Zytometer;
- Fig. 32 zeigt ein Blockdiagramm eines Ausführungsbeispiels eines Zytometers;
- Fig. 33 zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Bereitstellen von Information über zumindest eine Sequenz; und
- Fig. 34 zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens zur Bereitstellung von Information über ein oder mehrere Zellen in einem Medium in einem Kanal.

Beschreibung

Verschiedene Ausführungsbeispiele werden nun ausführlicher unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen beschrieben, in denen einige Ausführungsbeispiele dargestellt sind. In den Figuren können die Dickenabmessungen von Linien, Schichten und/oder Regionen um der Deutlichkeit Willen übertrieben dargestellt sein.

Bei der nachfolgenden Beschreibung der beigefügten Figuren, die lediglich einige exemplarische Ausführungsbeispiele zeigen, können gleiche Bezugszeichen gleiche oder vergleichbare Komponenten bezeichnen. Ferner können zusammenfassende Bezugszeichen für Komponenten und Objekte verwendet werden, die mehrfach in einem Ausführungsbeispiel oder in einer Zeichnung auftreten, jedoch hinsichtlich eines oder mehrerer Merkmale gemeinsam beschrieben werden. Komponenten oder Objekte, die mit gleichen oder zusammenfassenden Bezugszeichen beschrieben werden, können hinsichtlich einzelner, mehrerer oder aller Merkmale, beispielsweise ihrer Dimensionierungen, gleich, jedoch gegebenenfalls auch unterschiedlich ausgeführt sein, sofern sich aus der Beschreibung nicht etwas anderes explizit oder implizit ergibt.

Obwohl Ausführungsbeispiele auf verschiedene Weise modifiziert und abgeändert werden können, sind Ausführungsbeispiele in den Figuren als Beispiele dargestellt und werden hierin ausführlich beschrieben. Es sei jedoch klargestellt, dass nicht beabsichtigt ist, Ausführungsbeispiele auf die jeweils offenbarten Formen zu beschränken, sondern dass Ausführungsbeispiele vielmehr sämtliche funktionale und/oder strukturelle Modifikationen, Äquivalente und Alternativen, die im Bereich der Erfindung liegen, abdecken sollen. Gleiche Bezugszeichen bezeichnen in der gesamten Figurenbeschreibung gleiche oder ähnliche Elemente.

Man beachte, dass ein Element, das als mit einem anderen Element „verbunden“ oder „verkoppelt“ bezeichnet wird, mit dem anderen Element direkt verbunden oder verkoppelt sein kann oder dass dazwischenliegende Elemente vorhanden sein können. Wenn ein Element dagegen als „direkt verbunden“ oder „direkt verkoppelt“ mit einem anderen Element bezeichnet wird, sind keine dazwischenliegenden Elemente vorhanden. Andere Begriffe, die verwendet werden, um die Beziehung zwischen Elementen zu beschreiben, sollten auf ähnliche Weise interpretiert werden (z.B., „zwischen“ gegenüber „direkt dazwischen“, „angrenzend“ gegenüber „direkt angrenzend“ usw.).

Die Terminologie, die hierin verwendet wird, dient nur der Beschreibung bestimmter Ausführungsbeispiele und soll die Ausführungsbeispiele nicht beschränken. Wie hierin verwendet, sollen die Singularformen „einer“, „eine“, „eines“ und „der, die, das“ auch die Pluralformen beinhalten, solange der Kontext nicht eindeutig etwas anderes angibt. Ferner sei

klargestellt, dass die Ausdrücke wie z.B. „beinhaltet“, „beinhaltend“, „aufweist“, „umfasst“, „umfassend“ und/oder „aufweisend“, wie hierin verwendet, das Vorhandensein von genannten Merkmalen, ganzen Zahlen, Schritten, Arbeitsabläufen, Elementen und/oder Komponenten angeben, aber das Vorhandensein oder die Hinzufügung von einem bzw. einer oder mehreren Merkmalen, ganzen Zahlen, Schritten, Arbeitsabläufen, Elementen, Komponenten und/oder Gruppen davon nicht ausschließen.

Solange nichts anderes definiert ist, haben sämtliche hierin verwendeten Begriffe (einschließlich von technischen und wissenschaftlichen Begriffen) die gleiche Bedeutung, die ihnen ein Durchschnittsfachmann auf dem Gebiet, zu dem die Ausführungsbeispiele gehören, beimisst. Ferner sei klargestellt, dass Ausdrücke, z.B. diejenigen, die in allgemein verwendeten Wörterbüchern definiert sind, so zu interpretieren sind, als hätten sie die Bedeutung, die mit ihrer Bedeutung im Kontext der einschlägigen Technik konsistent ist, und nicht in einem idealisierten oder übermäßig formalen Sinn zu interpretieren sind, solange dies hierin nicht ausdrücklich definiert ist.

Bei der Zellzählung basierend auf dem Prinzip der Räumlich Modulierten Fluoreszenz (RMF) werden häufig binäre Codes eingesetzt, mit Hilfe derer die räumliche Modulationsabfolge der Beleuchtung oder der Fluoreszenzemission festgelegt wird (siehe Fig. 2).

Fig. 2 zeigt ein Schema des Prinzips der räumlich modulierten Emission. Der Abfolge der offenen und geschlossenen Bereiche der Maske 2002 wird durch sogenannte binäre Sequenzen/Codes beschrieben, wobei üblicherweise eine „1“ im Code für eine Maskenöffnung und eine „0“ für geschlossene Bereiche verwendet wird. Fig. 2 zeigt zusätzlich einen Sensor 2004, der ein Lichtsignal von fluoreszierenden Partikeln 2006 in einem Kanal 2008 erfasst und als gefiltertes Signal 2010 bereitstellt.

Im nicht-prozessierten Ausgangssignal 2010 der RMF kann sich die räumliche Modulationsabfolge in einer entsprechenden zeitlichen Modulation der Signalamplitude (Nutzsignal) wiederfinden (vgl. Fig. 3). Reale Signale können aus einer additiven Überlagerung des Nutzsignales, eines Gleichanteils und von Rauschen, das aus verschiedenen Quellen stammen kann (z.B. Detektorrauschen, Schrotrauschen, Quantisierungsrauschen, etc.) bestehen. Fig. 3 zeigt ein Beispiel für ein Ausgangssignal 3002 codiert mit der Sequenz LABS26(16) (S1101101101010111110001100T). LABS steht für Low-Autocorrelation

Binary Sequences, Schwach-Autokorrelierte Binäre Sequenzen, eine bekannte Gruppe von Sequenzen mit schwacher Autokorrelation. 3004 zeigt das entsprechende Filter.

Zur Bestimmung des Transitzeitpunktes und der Fluoreszenzintensität der Zellen, könnte bei der RMF eine kontinuierliche Korrelation 4004 des Eingangssignals mit der zugrundeliegenden Sequenz (Filter, 4002), die auf die Länge des Messsignals gestreckt wird (Kiesel et al. 2009) erfolgen. Das Korrelations-/Filterungsergebnis 4004 könnte anschließend differenziert werden, um Gleichanteile sowie den niederfrequenten Untergrund zu unterdrücken 4006. Fig. 4 zeigt Filter 4002 und Korrelationssignal 4004 mit Hauptpeak, Gleichanteil und niederfrequentem Untergrund. 4006 zeigt ein zeitlich differenziertes Korrelationssignal zur Eliminierung der Gleichanteile des niederfrequenten Untergrundes (Differentielle Filterung).

Im Ausgangssignal können neben einem Hauptmaximum, die das Zellereignis wiedergibt, signifikante Nebenmaxima verbleiben, die die Erkennung der Hauptsignatur im Fall von überlappenden Partikeln erschweren können. In Ausführungsbeispielen können Nebenmaxima beispielsweise lokalen Maxima in einer Korrelationsfunktion entsprechen, die nicht einem Hauptmaximum zugeordnet werden. Die lokalen Maxima können beispielsweise auf einer Betragsfunktion basieren, und ein Maximum für eine (positive oder negative) Abweichung von einem Referenzwert angeben. In manchen Ausführungsbeispielen kann ein Nebenmaximum auch einer Nebenkeule entsprechen.

Fig. 5 zeigt beispielhaft, wie mittels einer balancierten Filterung in einem Korrelationsschritt ein Ausgangssignal 5004 mit reduzierter Rauschverstärkung aus dem Eingangssignal der Fig. 3 3002 gewonnen werden kann. Mit dieser Methode könnte der Rechenaufwand reduziert werden und/oder das Signal-zu-Rausch-Verhältnis (auch engl. Signal-to-Noise-Ratio, SNR) verbessert werden. Allerdings könnten Nebenmaxima mit vergleichbarer Amplitude im Signal verbleiben. Fig. 5 zeigt ein Balanciertes Filter 5002 für die Sequenz LABS26 und Ausgangssignal 5004 mit Hauptmaximum und Nebenmaxima. 5006 zeigt den Absolutbetrag des Ausgangssignals. Im Vergleich zur Fig. 4 ist der Gleichanteil unmittelbar eliminiert und der niederfrequente Untergrund ist deutlich reduziert. Im Vergleich zu 4006 ist das Ausgangssignal sichtbar weniger verrauscht, allerdings können Nebenmaxima vergleichbarer Amplitude im Signal verbleiben.

Die zeitliche Ausdehnung des Signales ist häufig nicht bekannt, da z.B. bei einer mikrofluidischen Zellzählung die laterale Transportgeschwindigkeit von Zellen 6004 von ihrer Transportposition im fluidischen Flussprofil 6002 abhängt (siehe Fig. 6). Um dennoch Zellen identifizieren zu können, könnte nun die Korrelation des Signales mit einer Vielzahl von Filtern so erfolgen, dass der gesamte erwartete Geschwindigkeits- / Laufzeitbereich der Objekte abgedeckt wird. Die Filterung könnte beispielsweise auf einer Vielzahl von sogenannten Geschwindigkeitskanälen 7002 (vgl. Fig. 7) erfolgen und wird auch zweidimensionale (2D-) Korrelation genannt.

Fig. 7 zeigt eine balancierte Filterung eines Eingangssignals 7000 mit einer Vielzahl von Filtern 7004 auf den Geschwindigkeitskanälen 7002. Die Filter 7004 sind zeitlich gestreckt um die tatsächliche Länge des Eingangssignals 7000 zu ermitteln. Zudem sind die Amplituden der Filter normiert, um ausgangsseitig die Amplitude des Eingangssignales zu reproduzieren. Aus dem globalen Maximum über alle Korrelations-/Ausgangssignale 7006 ergeben sich die Eingangssignalamplitude, die Transportgeschwindigkeit des Objektes und der Zeitpunkt des Transits.

In den Ausgangssignalen könnte beispielsweise aus dem globalen Maximum (größten Hauptmaximum) ein sogenannter resonanter Geschwindigkeitskanal ermittelt werden. In zumindest manchen Ausführungsbeispielen kann ein Geschwindigkeitskanal, oder auch Kanal, einer zeitlich skalierten Sequenz oder einem Filter basierend auf einer zeitlich skalierten Sequenz entsprechen. In diesem Kanal stimmt die Länge des Eingangssignals mit der Länge des Filters überein und es könnten beispielsweise die Signalamplitude, die Geschwindigkeit und der Zeitpunkt des Zelltransits ermittelt werden. Allerdings können die nicht resonanten Kanäle ausgeprägte Maxima zeigen, die in ihrer Amplitude z.T. deutlich höher sind als die Nebenmaxima auf dem resonanten Kanal. Bei der 2D-Korrelation können bei Verwendung der bekannten LABS auf den nicht resonanten Kanälen ausgeprägte Nebenmaxima auftreten. Dies hat drei wesentliche Folgen:

- Rauschen im Eingangssignal kann dazu führen, dass Nebenmaxima deutlich über ihren regulären Level überhöht werden, sodass Fehlerkennungen auftreten. Schwellenwerte für die Ereigniserkennung könnten hinreichend hoch gesetzt werden um Fehlerkennungen zu vermeiden. Das Detektionslimit ist somit durch die Amplitude der größten Nebenmaxima gegeben.

- Bei überlappenden Eingangssignalen, d.h. bei gleichzeitigem Transit mehrerer Zellen durch die Detektionszone könnten die Amplituden der Hauptmaxima stark durch die Nebenmaxima der benachbarten Ereignisse verfälscht werden, oder es könnten durch die konstruktive Überlagerung von Nebenmaxima Fehlerkennungen zustande kommen.
- Bei überlappenden Zellsignalen könnte die Amplitude des schwächeren Signales immer noch deutlich geringer als die größten Nebenmaxima des stärkeren Signales sein. Die Messbereichsdynamik könnte im Zeitbereich um das Hauptmaximum, in dem sich die Nebenmaxima befinden, stark eingeschränkt sein.

Ausführungsbeispiele basieren auf der Erkenntnis, dass es sinnvoll sein kann, die maximale Amplitude der Nebenmaxima für den Fall unterschiedlicher Zellgeschwindigkeiten – also für den 2D Fall – auch auf den nicht resonanten Geschwindigkeitskanälen zu minimieren. Zumindest manche Ausführungsbeispiele beschreiben, nach welchen Kriterien Codes auszuwählen sind, die diese Forderung erfüllen.

Fig. 1 zeigt ein Blockdiagramm eines Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung 20 zum Bereitstellen von Information über zumindest eine Sequenz. Die zumindest eine Sequenz beschreibt zeitlich aufeinanderfolgende Signalzustände. Ein Signalzustand könnte einem binären, einem unipolaren, einem bipolaren oder einem multipolaren Signalzustand entsprechen. Ein Signalzustand könnte einen logischen oder diskreten Wert umfassen oder auf einer Spannung, einer Stromstärke und/oder einer Messintensität basieren. In zumindest manchen Ausführungsbeispielen könnte die Sequenz zeitlich äquidistante Signalzustände beschreiben, oder die Sequenz könnte einen variablen zeitlichen Zusammenhang zwischen Signalzuständen beschreiben. In zumindest manchen Ausführungsbeispielen kann eine Sequenz einer Binärsequenz entsprechen. Die Binärsequenz könnte beispielsweise zeitlich äquidistante aufeinanderfolgende Signalzustände beschreiben.

Die Vorrichtung 20 umfasst eine Schnittstelle 22, die ausgebildet ist, um Information über eine Anzahl der Signalzustände zu erhalten. Die Schnittstelle 22 kann beispielsweise einem oder mehreren Eingängen und/oder einem oder mehreren Ausgängen zum Empfangen und/oder Übertragen von Informationen entsprechen, etwa in digitalen Bitwerten, basierend auf einem Code, innerhalb eines Moduls, zwischen Modulen, oder zwischen Modulen verschiedener Entitäten. Die Information über die Anzahl der Signalzustände könnte beispielsweise

Information über eine Anzahl von Zeitschritten in der Sequenz umfassen, Information über eine Anzahl von Signalzustandswechseln und/oder Information über eine Länge der Sequenz.

Die Vorrichtung 20 umfasst ferner ein Berechnungsmodul 24, welches ausgebildet ist, um eine Mehrzahl von möglichen Sequenzen zu generieren, basierend auf der Information über die Anzahl der Signalzustände. In einigen Ausführungsbeispielen könnte die Mehrzahl von möglichen Sequenzen alle Sequenzen umfassen, die basierend auf der Anzahl der Signalzustände und basierend auf den Signalzuständen möglich sind. Bei binären Signalzuständen und einer Anzahl von 5 Signalzuständen könnte die Mehrzahl von möglichen Sequenzen beispielsweise 32 Sequenzen umfassen. In zumindest einigen anderen Ausführungsbeispielen könnte die Mehrzahl von möglichen Sequenzen eine Untermenge von möglichen Sequenzen umfassen, die beispielsweise durch Eigenschaften der Sequenzen eingeschränkt ist, beispielsweise durch eine Periodizität oder eine mittlere Strukturgröße.

In Ausführungsbeispielen kann das Berechnungsmodul 24 einem beliebigen Controller oder Prozessor oder einer programmierbaren Hardwarekomponente entsprechen. Beispielsweise kann das Berechnungsmodul 24 auch als Software realisiert sein, die für eine entsprechende Hardwarekomponente programmiert ist. Insofern kann das Berechnungsmodul 24 als programmierbare Hardware mit entsprechend angepasster Software implementiert sein. Dabei können beliebige Prozessoren, wie Digitale Signalprozessoren (DSPs) zum Einsatz kommen. Ausführungsbeispiele sind dabei nicht auf einen bestimmten Typ von Prozessor eingeschränkt. Es sind beliebige Prozessoren oder auch mehrere Prozessoren zur Implementierung des Berechnungsmoduls 24 denkbar.

In zumindest einigen Ausführungsbeispielen könnte eine Sequenz eine mittlere Strukturgröße haben. Eine Strukturgröße könnte auf einer Anzahl von gleichen aufeinanderfolgenden Signalzuständen basieren. Das Berechnungsmodul 24 könnte ausgebildet sein, um die Mehrzahl von möglichen Sequenzen basierend auf einem Zielbereich für die mittlere Strukturgröße zu generieren.

Die mittlere Strukturgröße kann einem Durchschnitt der Strukturgrößen einer Sequenz entsprechen. In zumindest manchen Ausführungsbeispielen könnte der Zielbereich für die mittlere Strukturgröße zwischen 1,3 und 1,8 liegen. In einigen Ausführungsbeispielen könnte

der Zielbereich beispielsweise zwischen 1,4 und 1,7, zwischen 1,5 und 1,6, zwischen 1,4 und 1,7, zwischen 1,5 und 1,7, oder zwischen 1,4 und 1,6 liegen.

Das Berechnungsmodul 24 ist ferner ausgebildet, für zumindest eine Teilmenge der möglichen Sequenzen Korrelationsfunktionen zwischen einer Sequenz und zumindest einer zeitlichen Skalierung der Sequenz zu berechnen. Eine Korrelationsfunktion umfasst ein Hauptmaximum und ein oder mehrere Nebenmaxima.

Die zumindest eine zeitliche Skalierung der Sequenz könnte beispielsweise auf unterschiedlich langen zeitlichen Ausdehnungen der Signalzustände basieren. In zumindest manchen Ausführungsbeispielen kann die zumindest eine zeitliche Skalierung der Sequenz auf einer Abbildung der Sequenz auf unterschiedliche Anzahlen von Abtastzeitpunkten oder Vergleichszeitpunkten basieren. Beispielsweise könnte die zumindest eine zeitliche Skalierung der Sequenz zeitlich skalierte Sequenzen mit 2 Abtastzeitpunkten oder Vergleichszeitpunkten (auch engl. Samples) pro Zustandsänderung, 3 Samples pro Zustandsänderung, 4 Samples pro Zustandsänderung etc. umfassen.

Die Korrelationsfunktionen können beispielsweise Kreuzkorrelationsfunktionen entsprechen. Die Sequenz könnte beispielsweise auf einer zeitlichen Referenzskalierung basieren, und das Berechnungsmodul 24 könnte ausgebildet sein, die Kreuzkorrelationsfunktionen zwischen der zeitlichen Referenzskalierung der Sequenz und der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz zu berechnen. In zumindest manchen Ausführungsbeispielen könnten die Korrelationsfunktionen Autokorrelationsfunktionen umfassen. In einigen Ausführungsbeispielen könnte das Berechnungsmodul 24 ferner ausgebildet sein, die Autokorrelationsfunktion der Sequenz basierend auf der zeitlichen Referenzskalierung und/oder Autokorrelationsfunktionen der zeitlich skalierten Sequenzen zu berechnen. In manchen Ausführungsbeispielen, in denen die zumindest eine zeitliche Skalierung der Sequenz zwei oder mehr unterschiedliche zeitliche Skalierungen der Sequenz umfasst, könnte das Berechnungsmodul 24 ferner ausgebildet sein, Kreuzkorrelationsfunktionen zwischen unterschiedlichen zeitlich skalierten Sequenzen der zwei oder mehr unterschiedlichen zeitlichen Skalierungen der Sequenz zu berechnen.

Das Berechnungsmodul 24 könnte ausgebildet sein, die Teilmenge der möglichen Sequenzen basierend auf der mittleren Strukturgröße zu bestimmen. Alternativ oder zusätzlich könnte das

Berechnungsmodul 24 ausgebildet sein, die Teilmenge der möglichen Sequenzen basierend auf dem Zielbereich für die mittlere Strukturgröße zu bestimmen.

Das Berechnungsmodul 24 ist ferner ausgebildet, die zumindest eine Sequenz basierend auf den Korrelationsfunktionen zu bestimmen. Die Folge der Signalzustände innerhalb der zumindest einen Sequenz ist derart gewählt, dass ein Nebenmaximum in einer Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz gegenüber einem durch unterschiedliche Anordnungen der Signalzustände in der Sequenz maximal in einer Korrelationsfunktion erzielbaren Nebenmaximum reduziert ist.

Das Berechnungsmodul 24 ist ferner ausgebildet, die Information über die zumindest eine Sequenz basierend auf der zumindest einen Sequenz zu bestimmen und über die Schnittstelle 22 bereitzustellen. Die Schnittstelle 22 ist mit dem Berechnungsmodul 24 gekoppelt.

In zumindest manchen Ausführungsbeispielen könnte das Berechnungsmodul 24 ausgebildet sein, um die Mehrzahl von möglichen Sequenzen als unipolare Sequenzen zu bestimmen. In einigen Ausführungsbeispielen könnte das Berechnungsmodul 24 ferner ausgebildet sein, die Korrelationsfunktionen basierend auf den unipolaren Sequenzen zu berechnen und/oder die zumindest eine Sequenz basierend auf den unipolaren Sequenzen zu bestimmen. In zumindest einigen Ausführungsbeispielen könnte das Berechnungsmodul 24 ferner ausgebildet sein, die zeitlich skalierten Sequenzen als balancierte zeitlich-skalierte Sequenzen zu bestimmen, die zeitlich skalierten Sequenzen als normierte zeitlich-skalierte Sequenzen zu bestimmen, und/oder die Korrelationsfunktionen basierend auf den balancierten zeitlich-skalierten Sequenzen und/oder den normierten balancierten zeitlich-skalierten Sequenzen zu berechnen.

In einigen Ausführungsbeispielen könnte das Berechnungsmodul 24 ausgebildet sein, um die zumindest eine Sequenz basierend auf den Korrelationsfunktionen zu bestimmen. Die Folge der Signalzustände innerhalb der zumindest einen Sequenz könnte derart gewählt sein, dass eine Summe, die auf den Nebenmaxima einer Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz basiert, gegenüber einer durch unterschiedliche Anordnungen der Signalzustände in der Sequenz maximal erzielbaren Summe, die auf aus der unterschiedlichen Anordnung resultierenden Nebenmaxima basiert, reduziert ist. Die Summen könnten beispielsweise auf numerischen Repräsentationen der Korrelationsfunktionen basieren. Die Summen könnten beispielsweise auf Quadrierungs- oder

Beitragsfunktionen der numerischen Repräsentationen der Nebenmaxima basieren, beispielsweise geteilt durch die Anzahl von betrachteten Zeitschritten. Die Summen könnten beispielsweise normiert sein.

Alternativ oder zusätzlich könnte die Folge der Signalzustände innerhalb der zumindest einen Sequenz derart gewählt sein, dass ein größtes Nebenmaximum in der Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz gegenüber einem durch unterschiedliche Anordnungen der Signalzustände in der Sequenz maximal erzielbaren größten Nebenmaximum reduziert ist. Das größte Nebenmaximum könnte beispielsweise auf einer Quadrierungs- oder Beitragsfunktion der numerischen Repräsentation der Nebenmaxima basieren.

In einigen Ausführungsbeispielen könnte das Berechnungsmodul 24 ausgebildet sein, um die zumindest eine Sequenz so zu bestimmen, dass die Summe, die auf den Nebenmaxima basiert, unter einem ersten Schwellenwert liegt.

Der erste Schwellenwert könnte beispielsweise einer zweitniedrigsten Summe, die auf den Nebenmaxima der Korrelationsfunktionen basiert, entsprechen. Das Berechnungsmodul 24 könnte die zweitniedrigste Summe beispielsweise rekursiv berechnen. Beispielsweise könnte das Berechnungsmodul 24 die Korrelationsfunktionen iterativ berechnen, wobei das Berechnungsmodul 24 die zu diesem Zeitpunkt niedrigste Summe, die auf den Nebenmaxima der Korrelationsfunktionen basiert, als ersten Schwellenwert nutzt.

In zumindest manchen Ausführungsbeispielen könnte der erste Schwellenwert auf einer niedrigsten Summe, die auf Nebenmaxima von Korrelationsfunktionen zwischen Sequenzen und zeitlich skalierten Sequenzen basierend auf zumindest einem Element der Gruppe von Low-Autocorrelation Binary Sequences (Binäre Sequenzen mit geringer Autokorrelation, LABS), Barker-Codes, CS100 codes, S100 codes, Neuman-Hofman Codes, Merten's Codes basieren.

Das Berechnungsmodul 24 könnte ausgebildet sein, um die zumindest eine Sequenz so zu bestimmen, dass das größte Nebenmaximum unter einem zweiten Schwellenwert liegt. Der zweite Schwellenwert könnte einem größten Nebenmaximum einer Sequenz mit einem zweitniedrigsten größten Nebenmaximum der Korrelationsfunktionen entsprechen. Das

Berechnungsmodul 24 könnte das zweitniedrigste größte Nebenmaximum beispielsweise iterativ oder rekursiv berechnen. Beispielsweise könnte das Berechnungsmodul 24 die Korrelationsfunktionen iterativ berechnen, wobei das Berechnungsmodul 24 das zu diesem Zeitpunkt niedrigste größte Nebenmaximum, das auf den Nebenmaxima der Korrelationsfunktionen basiert, als zweiten Schwellenwert nutzt. In zumindest manchen Ausführungsbeispielen könnten die ein oder mehreren Nebenmaxima und/oder das Hauptmaximum normiert sein.

In einigen Ausführungsbeispielen könnte ein niedrigstes größtes Nebenmaximum einem Nebenmaximum entsprechen, das, in einer Mehrzahl von Korrelationsfunktionen zwischen Sequenzen und zeitlich skalierten Sequenzen einer Mehrzahl verschiedener Sequenzen, wobei die Korrelationsfunktionen jeweils ein größtes Nebenmaximum umfassen, das niedrigste größte Nebenmaximum darstellt.

In manchen Ausführungsbeispielen könnte der erste Schwellenwert auf einem niedrigsten größten Nebenmaximum von Korrelationsfunktionen zwischen Sequenzen und zeitlich skalierten Sequenzen basierend auf zumindest einem Element der Gruppe von Low-Autocorrelation Binary Sequences (Binäre Sequenzen mit geringer Autokorrelation, LABS), Barker-Codes, CS100 codes, S100 codes, Neuman-Hofman Codes, Merten's Codes basieren.

In konventionellen Systemen werden auch für unipolare Signale vorwiegend sog. „Low Autocorrelation Binary Sequences“ (LABS) zur Definition des Signalverlaufes eingesetzt. Diese Sequenzen sind bipolar, d.h. die Koeffizienten sind entweder „1“ oder „-1“ und können beispielsweise für bipolare und gleichanteilfreie Signale optimiert sein. Die Optimierung kann beispielsweise darauf ausgelegt sein entweder die Gesamtenergie (oder Amplitude) in den Nebenmaxima oder die Energie/Amplitude des größten Nebenmaximums zu minimieren. Die oben bereits eingeführte Sequenz LABS26 ist eine solche Sequenz mit der Länge 26. Bei der Umwandlung einer bipolaren (1,-1) Sequenz in eine unipolare (0,1) Sequenz werden im Folgenden zwei Transformationsvorschriften genutzt:

$$-1 \rightarrow 0, \quad 1 \rightarrow 1 \quad (1)$$

$$-1 \rightarrow 1, \quad 1 \rightarrow 0 \quad (2)$$

D.h. aus einer bipolaren Sequenz könnten zwei unipolare Sequenzen erzeugt werden, die sich im Sinne der im Folgenden beschriebenen Eigenschaften unterschiedlich verhalten können. Im Folgenden wurden jeweils beide Sequenzen untersucht.

In Fig. 8 sind für die Sequenz LABS26 der bipolare, gleichanteilfreie Signalverlauf 8002, der Filterverlauf 8004 und das Ausgangssignal 8006 dargestellt. Im Vergleich zu Fig. 4 fällt deutlich auf, dass das Hauptmaximum (A_H) wesentlich größer als das höchste Nebenmaximum ($\max(abs(NK_i))$, NK_i bezeichnet das i-te Nebenmaximum) ist. In diesem Fall ergibt sich für die bipolare Situation das Verhältnis

$$V_{bip} = \frac{A_H}{\max(abs(NK_i))} = 77,4 \quad (3)$$

Für die beiden unipolaren Fälle ergibt sich $V_{differentiell} = 15,1$ und $V_{balanciert} = 13,0$.

Im Fall der RMF ist die Form der Signale nun unipolar und gleichanteilbehaftet, wie das Beispielsignal 3002 aus Fig. 3 zeigt. Zumindest manche Ausführungsbeispiele zeigen, dass im Fall solcher unipolarer Signale eine neue Klasse von Sequenzen, die sich von den bereits bekannten LABS unterscheidet, vorteilhaft sein kann. Fig. 2 zeigt anhand einer Beispielsequenz (Q1DP26(12,#1) [01001001010111011000111000]), dass ein wesentlich besseres Hauptmaximum zu Nebenmaximaverhältnis V erzielt werden kann als mit literaturbekannten bipolaren LABS (Levanon et al. 2004, Turyn et al. 1961, Mertens et al. 1996, Coxson et al., 2005, Borewein et al. 2000, Nunn et al. 2008, Shanmugam et al. 2008). So beträgt beispielsweise für die Codelänge 26 ein in Ausführungsbeispielen gefundenes verbessertes Verhältnis $V_{bal}(Q1DP26(12, \#1)) = 46,0$ unter Verwendung der Sequenz Q1DP26(12,#1). Für die bekannten LABS ergibt sich das beste gefundene Verhältnis zu $V_{bal}(LABS26) = 13,0$. In Ausführungsbeispielen kann ein Code einer Sequenz entsprechen.

Fig. 9 zeigt das unipolare, gleichanteilbehaftete Signal 9002, den Filterverlauf 9004 und das Ausgangssignal 9006 für eine Sequenz Q1DP26(12,#1) aus Ausführungsbeispielen.

Im Folgenden wird beispielhaft ein Bewertungsmodell für die Sequenz-/Codequalität für den Fall bekannter Signallänge (1D, bzw. ein-dimensionaler Fall) definiert. Eine unipolare Sequenz (Code) C der Länge L ist definiert durch L Koeffizienten b_i :

$$C = [b_i], \quad (i = 1, 2, \dots, L), \quad b_i \in \{1, 0\} \quad (4)$$

Die Anzahl E der Einsen im Code berechnet sich dann nach

$$E = \sum_{i=1}^L b_i \quad (5)$$

und die Anzahl Z der Nullen im Code ergibt sich zu

$$Z = L - E \quad (6)$$

Ein Ausschnitt M_j der Länge K_M aus dem Messsignal für die Zeitschritte $t_j, t_{j+1}, \dots, t_{j+K_M-1}$ ist definiert durch eine Folge von K_M zeitlich äquidistanten Werten m_{j+k-1} , ($k = 1, 2, \dots, K_M$) die sich jeweils additiv zusammensetzen aus einem quasistationären Gleichanteil $g_{j+k-1} = g$, einem Rauschanteil r_{j+k-1} und dem eigentlichen Nutzsignal S mit den Einzelwerten a_{j+k-1} , die die Nutzsignalamplitude A einnehmen, falls im Zeitschritt t_{j+k-1} gilt: $b_i = 1$. D.h. zum Zeitpunkt t_{j+k-1} befindet sich das fluoreszierende Partikel 2006 an einem Ort relativ zur Maske 2002, an dem der Detektor oder Sensor 2004 das Signal des Partikels „sieht“ (vgl. Fig. 2). Ansonsten gilt $a_{j+k-1} = 0$. Also ergibt sich:

$$M_j = [m_{j+k-1}] = [a_{j+k-1} + G + r_{j+k-1}], \quad (7)$$

$$(j = 1, 2, \dots), \quad (k = 1, 2, \dots, K_M), \quad a_{j+k-1} \in \{A, 0\}$$

Die Gesamtlänge K_v des Nutzsignals S im Messsignal M_j berechnet sich aus der mittleren Anzahl der Zeitschritten K_{bv} während derer sich das Partikel im Bereich eines Codekoeffizienten b_i befindet und der Codelänge L nach

$$K_v = K_{bv} L \quad (8)$$

In zumindest manchen Ausführungsbeispielen muss K_{bv} nicht ganzzahlig sein. Zur Vereinfachung werden die folgenden Betrachtungen dennoch nur für ganzzahlige K_{bv} durchgeführt.

Das Filter F_v mit den Koeffizienten $f_{k \cdot i, v}$ ist mit der Länge K_v des Nutzsymbols zu wählen um eine verbesserte Erkennung zu gewährleisten und seine Koeffizienten werden nach folgender Vorschrift belegt. Für jeden Codekoeffizienten b_i könnten K_{bv} Filterkoeffizienten $f_{k \cdot i, v}$ so gewählt werden, dass gilt:

$$f_{k \cdot i, v} = f_{p, v} = \begin{cases} h = \frac{1}{EK_{bv}}, & \text{falls } b_i = 1 \\ l = -\frac{1}{ZK_{bv}}, & \text{falls } b_i = 0 \end{cases}, (p = k \cdot i) \quad (9)$$

$$= 1, 2, \dots, K_v)$$

Durch diese Wahl kann das Filter F_v in Ausführungsbeispielen balanciert sein, d.h. es gilt

$$\sum_p f_{p, v} = 0, \quad (p = 1, 2, \dots, K_v) \quad (10)$$

und das Filter F_v kann normiert sein, so dass das Hauptmaximum nach der Korrelation den Wert A der Nutzsymbolsamplitude im Nutzsymbols S annimmt (rauschfreier Fall). Falls also im Messsignalausschnitt M_j ein Nutzsymbols mit der Amplitude A enthalten ist, dann kann für das (rauschfreie) Korrelationssymbols C gelten

$$\max(c_q)_{j, v} = \max \left(\sum_{p=1}^{K_v} m_{j+q-1+p-1} f_{p, v} \right) = A, \quad (11)$$

$$(q = 1, 2, \dots, K_M - K_v + 1)$$

Allgemein sind dabei die Koeffizienten der Korrelation $C_{j, v} = M_j \times F_v = [c_{q, j, v}]$ des Messsignals M_j der Länge K_M mit dem Filter F_v folgendermaßen definiert:

$$c_{q, j, v} = \sum_{p=1}^{K_v} m_{j+q-1+p-1} f_{p, v}, \quad (q = 1, 2, \dots, K_M - K_v + 1) \quad (12)$$

Damit in der Korrelation alle Koeffizienten, d.h. auch alle Nebenmaxima vollständig erfasst sind, könnte das Messsignals zumindest eine Länge $K_M = 3K_v - 2$ haben.

Zur Charakterisierung verschiedener Codes könnte in Ausführungsbeispielen das Messsignal nun vereinfacht werden, indem der Gleichanteil $g = 0$ gesetzt wird und das Rauschen vernachlässigt wird ($r_{j+k-1} = 0 \forall k$), d.h. die Codecharakterisierung könnte rein anhand des Nutzsignales erfolgen. Zur weiteren Vereinfachung wird die Amplitude des Nutzsignales auf $A = 1$ gesetzt um ein einfaches Filtertestsignal zu erhalten. Das Filtertestsignal $S_{T,v}$ für ein Objekt der Geschwindigkeit v könnte dann die Form haben:

$$S_{T,v} = [s_{p,v}], \quad \text{wobei } s_{p,v} = s_{k \cdot i, v} \quad (13)$$

$$= \begin{cases} 1, & \text{falls } b_i = 1 \\ 0, & \text{falls } b_i = 0 \end{cases}, (p = 1, 2, \dots, K_v)$$

Da unter diesen Bedingungen in Ausführungsbeispielen Koeffizienten außerhalb des Filtertestsignals und des Filters zu Null angenommen werden könnten, könnte die Korrelation beider Signale folgendermaßen dargestellt werden:

$$c_{q,v} = \sum_{p=1}^{K_v} s_{p,v} f_{p+q-K_v}, \quad (q = 1, 2, \dots, 2K_v - 1), \quad (14)$$

wobei $s_{x,v} = f_x = 0$, für $x < 1$ oder $x > K_v$

Die Korrelation hat beispielsweise $2K_v - 1$ Korrelationskoeffizienten. Davon werden per Definition die Koeffizienten mit dem Index $K_v - (K_{bv} - 1), K_v - (K_{bv} - 1) + 1, \dots, K_v + (K_{bv} - 1)$, also insgesamt $(2K_{bv} + 1)$ Koeffizienten, dem Hauptmaximum zugerechnet und alle anderen Koeffizienten gehören zu den Nebenmaxima. Diese Definition unterstellt, dass das Hauptmaximum doppelt so viele Korrelationskoeffizienten enthält, wie Zeitschritte in einem Codekoeffizienten vorliegen. Um positive und negative Werte gleichermaßen zu behandeln könnten die Korrelationskoeffizienten in zumindest einigen Ausführungsbeispielen quadriert werden und das Maximum

$$1DPSLR = \max(c_{q,v}^2) \quad (15)$$

für $q \neq K_v - (K_{bv} - 1), K_v - (K_{bv} - 1) + 1, \dots, K_v + (K_{bv} - 1)$

könnten einen charakteristischen Wert für das größte Nebenmaximum des Codes angeben, wobei alle Korrelationskoeffizienten in einer Gesamtbreite von $(2K_{bv} + 1)$ um das

Hauptmaximum ausgelassen werden. In zumindest manchen Ausführungsbeispielen könnte das größte Nebenmaximum auf 1DPSLR basieren.

Ein Mittelwert

$$1DISLR = \frac{\sum_q c_{q,v}^2}{2K_v - 1 - 2(K_{bv} - 1)} \quad (16)$$

für $q \neq K_v - (K_{bv} - 1), K_v - (K_{bv} - 1) + 1, \dots, K_v + (K_{bv} - 1)$

ist beispielhaft ein weiterer charakteristischer Wert für die Energie/Amplitude die in den Nebenmaxima enthalten ist, wobei ebenfalls alle Korrelationskoeffizienten in einer Gesamtbreite von $(2K_{bv} + 1)$ um das Hauptmaximum ausgelassen werden. In zumindest manchen Ausführungsbeispielen könnte die Summe der Nebenmaxima auf 1DISLR basieren.

Alternativ könnten als Bereich für das Hauptmaximum alle Korrelationskoeffizienten bis zu den beiden benachbarten lokalen Minima herangezogen werden.

Ein weiterer Parameter für die Bewertung von Sequenzen für ihre Eignung für die RMS Technik ist in manchen Ausführungsbeispielen die Rauschverstärkung. Allgemein berechnet sich die Rauschverstärkung V zu

$$V_v = \sqrt{\sum_{p=1}^{K_v} f_{p,v}^2} \quad (17)$$

Aus dem Verhältnis von Eingangssignalamplitude (= Amplitude des Hauptmaximums bei balancierten Codes) zu Rauschverstärkung ergibt sich der SNR-Gewinn beispielsweise zu

$$SNR_{Gain,v} = \frac{A}{\sqrt{\sum_{p=1}^{K_v} f_{p,v}^2}} = \frac{1}{\frac{1}{A} \sqrt{\sum_{p=1}^{K_v} f_p^2}} = \sqrt{K_b} \sqrt{\frac{E \cdot Z}{L}} \quad (18)$$

Der SNR-Gewinn eines balancierten Filters in Verbindung mit unipolaren Modulationssequenzen könnte für $E = Z$ für gerades L oder für $abs(E - Z) = 1$ für ungerades L ein Maximum einnehmen.

Ein Code könnte zwei Bedingungen erfüllen:

1. Er hat ein verbessertes SNR_{Gain} und
2. er hat ein verkleinertes $1DISLR$ oder $1DPSLR$

Mathematisch könnte dies z.B. zusammengefasst werden in den Qualitätsmesszahlen

$$Q1DI = \frac{SNR_{Gain}}{1DISLR} \quad (19)$$

und

$$Q1DP = \frac{SNR_{Gain}}{1DPSLR} \quad (20)$$

In zumindest manchen Ausführungsbeispielen könnte das größte Nebenmaximum auf $Q1DP$ basieren. In zumindest manchen Ausführungsbeispielen könnte die Summe der Nebenmaxima auf $Q1DI$ basieren.

In beispielhaften Ausführungsbeispielen hat eine vollständige Suche in allen Codes bis zur Länge $L = 33$ ergeben, dass zahlreiche unipolare Codes „ULABS“ existieren, die unter Anwendung dieser Kriterien besser für die Verwendung in der RMF (und vergleichbare Anwendungen, die unipolare Codes nutzen) geeignet sein könnten als die bekannten bipolaren LABS (siehe Fig. 10 und Fig. 12, die zugehörigen Codes und Qualitätsmesszahlen finden sich in Fig. 11 und Fig. 13).

In zumindest manchen Ausführungsbeispielen beziehen sich die Bezeichnungen beste Codes, optimale Codes, beste Sequenzen oder optimale Sequenzen auf Sequenzen, die bei Berücksichtigung eines oder mehrerer Kriterien oder Qualitätsmesszahlen, etwa $Q1DI, Q1DP, Q2DI, Q2DP, Q2DPs$, unter einer Mehrzahl von betrachteten Sequenzen vorteilhafte oder die vorteilhaftesten Eigenschaften aufweisen.

Fig. 10 zeigt einen Vergleich der Qualitätsmesszahl $Q1DI$ für die bekannten LABS (Bestes LABS 1002) und Beispiele aus der Klasse von Codes „ULABS“ aus Ausführungsbeispielen (bester Code: 1004, beste 10: 1006).

Fig. 11 zeigt in einem beispielhaften Ausführungsbeispiel die jeweils besten betrachteten Sequenzen aus der Klasse der LABS 1116 und der ULABS 1114 bewertet nach der Qualitätsmesszahl $Q1DI$ 1112. 1102 zeigt eine Code-ID der Codes, 1104 eine Binärrepräsentation der Codes, 1106 die Codelänge, 1108 die Anzahl der Einsen im Binärcode, 1110 zeigt SNR_{Gain} und 1112 die Qualitätsmesszahl $Q1DI$.

Fig. 12 zeigt beispielhaft einen Vergleich der Qualitätsmesszahl $Q1DP$ für die bekannten LABS (bestes LABS: 1202) und Beispiele aus der neu identifizierten Klasse von Codes „ULABS“ (bester Code: 1204, beste 10: 1206).

Fig. 13 zeigt in einem beispielhaften Ausführungsbeispiel die jeweils besten betrachteten Sequenzen aus der Klasse der LABS 1316 und der ULABS 1314 bewertet nach der Qualitätsmesszahl $Q1DP$ 1312. 1302 zeigt die Code-ID der Codes, 1304 eine Binärrepräsentation der Sequenzen, 1306 die Sequenzlänge, 1308 die Anzahl der Einsen in der Binärsequenz, 1310 zeigt SNR_{Gain} und 1312 die Qualitätsmesszahl $Q1DP$.

Fig. 14 zeigt einen Vergleich der jeweils besten Sequenzen 1402 ($Q1DI$) und 1404 ($Q1DP$) aus Ausführungsbeispielen mit $L = 33$ aus Fig. 11 und Fig. 13 bezüglich der Qualitätsmesszahlen $Q1DP$ 1312 und $Q1DI$ 1112. Für beide Kriterien findet sich das selbe LABS 1406.

Die bis hierhin ausgeführten Berechnungen und Auswahlkriterien beziehen sich auf den 1D-Fall, d.h. die zeitliche Ausdehnung des Eingangssignals, bzw. die Geschwindigkeit der Zelle / des Objektes ist bekannt. Im Folgenden werden die Kriterien auf den 2D-Fall erweitert. In Fig. 7 ist bereits gezeigt, dass in diesem Fall über eine Vielzahl von sogenannten Geschwindigkeitskanälen korreliert werden könnte, d.h. für jede Geschwindigkeit könnte ein speziell angepasster Filter genutzt werden, beispielsweise durch verschiedene zeitliche Skalierungen der Sequenz. Eine entsprechende Filterbank mit einem Satz von Filtern F_j für K_v Geschwindigkeitskanäle könnte in Ausführungsbeispielen unter Verwendung von Gl. (9) berechnet werden.

$$F_j = [f_{(k \cdot i)j}], \quad (i = 1, 2, \dots, L), (k = 1, 2, \dots, K_{bj}), (K_{bj} = K_u, K_u + 1, \dots, K_o), \quad (21)$$

wobei $K_u \cdot L$ und $K_o \cdot L$ die Länge des Filters für die höchste, bzw. niedrigste Geschwindigkeit in der Filterbank beschreiben.

Analog zu Gl. (13) wird ein Testsignal $S_T = [s_p]$ mit K_T ($K_u \leq K_T \leq K_o$) Abtastungen pro Codekoeffizient gewählt und die 2D Korrelation ergibt sich analog Gl. (14) zu

$$c_{qj} = \sum_{p=1}^{K_j} s_p f_{p+q-K_j}, \quad (22)$$

$$(q = 1, 2, \dots, 2K_j - 1), (K_j = L \cdot K_{bj})$$

wobei $s_x = f_x = 0$, für $x < 1$ oder $x > K_j$

Fig. 7 zeigt die Form von Filtern 7004 und Korrelationssignalen 7006 (Ausgangssignale) für ausgewählte Geschwindigkeitskanäle 7002. Es zeigt sich, dass in zumindest manchen Ausführungsbeispielen im sogenannten resonanten Kanal das größte Hauptmaximum zu finden ist. Anhand der Parameter K_u und K_o könnte in Ausführungsbeispielen nun ein Geschwindigkeitsbereich festgelegt werden, in dem die Nebenmaxima um das Hauptmaximum bewertet werden könnten. In Fig. 7 wurde $K_u = 20$ (Kanal Nr. 1, $v_{max,opt}$) und $K_o = 80$ (Kanal Nr. 61, $v_{min,opt}$) gewählt und der resonante Kanal wurde auf $K_T = 40$ (Kanal Nr. 21, v_{center}) gesetzt. Der kürzeste Filter ist in einer beispielhaften Implementierung auf die doppelte Geschwindigkeit des Testpartikels ausgelegt und der längste Filter entsprechend auf die Hälfte und es gilt:

$$v_{max,opt}/2 = v_{center} = 2 \cdot v_{min,opt} \quad (23)$$

Diese Beziehung zeigt an, in welchem Geschwindigkeitsbereich um das Hauptmaximum herum beispielhaft die Nebenmaxima untersucht und minimiert werden könnten. Für die Anwendung der Technik im Fall einer unbekannten Geschwindigkeit bedeutet dies, dass der Code auf eine Geschwindigkeitsdynamik

$$[v_{min}; v_{max} = 2 \cdot v_{min}] \quad (24)$$

ausgelegt ist, da dies genau der Geschwindigkeitsbereich ist in dem für das schnellste Objekt die Optimierung bis zur langsamsten Geschwindigkeit ausgelegt ist und umgekehrt.

In einigen Ausführungsbeispielen könnte das Berechnungsmodul 24 ausgebildet sein, um bereinigte Korrelationsfunktionen basierend auf den Korrelationsfunktionen zu bestimmen. Das Berechnungsmodul 24 könnte ausgebildet sein, um einen Beitrag von Hauptmaxima in den bereinigten Korrelationsfunktionen zu reduzieren. Das Berechnungsmodul 24 könnte beispielsweise ausgebildet sein, um die Information über die zumindest eine Sequenz basierend auf den bereinigten Korrelationsfunktionen zu bestimmen.

In zumindest manchen Ausführungsbeispielen könnte das Berechnungsmodul 24 ausgebildet sein, um unter den Hauptmaxima der Korrelationsfunktionen ein größtes Hauptmaximum zu bestimmen. Das Berechnungsmodul 24 könnte ausgebildet sein, um über die zeitliche Ausdehnung des größten Hauptmaximums den Beitrag der Hauptmaxima in den bereinigten Korrelationsfunktionen zu reduzieren. Beispielsweise könnte das Berechnungsmodul 24 ausgebildet sein, alle anderen Haupt- und Nebenmaxima während der zeitlichen Ausdehnung des größten Hauptmaximums zu unterdrücken oder reduzieren.

Alternativ oder zusätzlich könnte das Berechnungsmodul 24 ausgebildet sein, um basierend auf einer zeitlichen Position des größten Hauptmaximums und basierend auf der Korrelationsfunktion der zeitlich skalierten Sequenz die das größte Hauptmaximum umfasst, die Beiträge der Hauptmaxima in den bereinigten Korrelationsfunktionen der zeitlich skalierten Sequenz und benachbarten zeitlichen Skalierungen der Sequenz zu bestimmen und zu reduzieren. Die zeitlich skalierte Sequenz, die das größte Hauptmaximum umfasst könnte beispielsweise einem resonanten Kanal entsprechen. In Ausführungsbeispielen könnte das Berechnungsmodul 24 ausgebildet sein, die Beiträge der Hauptmaxima bis zu einem nächsten (lokalen) Minimum zu reduzieren, beispielsweise basierend auf der zeitlichen Position des größten Hauptmaximums.

Fig. 15 zeigt einen Vergleich von 2D quadrierten Korrelationskanälen 1506 für ausgewählte Geschwindigkeitskanäle für LABS26(16,#2) 1502 und Q2DPs26(15,#2) 1504. Q2DPs26(15,#2) 1504 zeigt deutlich niedrigere Nebenmaxima über den gesamten

Geschwindigkeitsbereich. Zur Ermittlung von Qualitätsmesszahlen für die Codes könnten zwei unterschiedlich scharfe Kriterien genutzt werden:

- Kriterium 1: Ausschneiden des Zeitbereiches den das größte Hauptmaximum abdeckt auf allen Kanälen (zeitlichen Skalierungen). Vorteil: Dieses Kriterium könnte numerisch einfach umzusetzen sein. Nachteil: Die Optimierung umfasst möglicherweise nicht den Fall von Doppelereignissen, bei denen ein Partikel das andere exakt in der Maskenmitte überholt.
- Kriterium 2: Ausschneiden des größten Hauptmaximums im resonanten Kanal und der Hauptmaxima in den benachbarten Kanälen (zeitlichen Skalierungen), jeweils bis zum nächsten Minimum. Dieses Kriterium könnte schärfer aber numerisch aufwendiger sein. Für Überholereignisse könnte die Optimierung ebenfalls gelten.

Fig. 16a und Fig. 16b zeigen ein Ausschneiden der Hauptmaxima zum Bestimmen der bereinigten Korrelationsfunktionen in Ausführungsbeispielen beispielhaft für ULABS-Q2DPs31(16,#1). 1602a und 1602b zeigen die Korrelationsfunktionen ULABS-Q2DPs31(16,#1) mit den Hauptmaxima 1604a und 1604b. 1606a und 1606b zeigen die bereinigten Korrelationsfunktionen mit den Leerstellen der entfernten Hauptmaxima 1608a und 1608b.

Fig. 17a und Fig. 17b zeigen ein Ausschneiden der Hauptmaxima zum Bestimmen der bereinigten Korrelationsfunktionen in Ausführungsbeispielen für LABS-Q2DPs31(19,#1). 1702a und 1702b zeigen die Korrelationsfunktionen LABS-Q2DPs31(19,#1) mit den Hauptmaxima 1704a und 1704b. 1706a und 1706b zeigen die bereinigten Korrelationsfunktionen mit den Leerstellen der entfernten Hauptmaxima 1708a und 1708b.

Aus der Menge an verbleibenden Korrelationswerten $[c_q]$ und $[c_q]_s$ könnten analog zu Gl. (15) jeweils die charakteristische Werte $2DPSLR$ für Kriterium 1 und $2DPSLRs$ für Kriterium 2 berechnet werden, die die Amplitude des höchsten Nebenmaximums bewerten:

$$\begin{aligned} 2DPSLR &= \max([c_q]^2) \\ 2DPSLRs &= \max([c_q]^2_s) \end{aligned} \tag{25}$$

Für beide Kriterien könnten jeweils gezählt werden, wie viele Korrelationswerte aus der Korrelationsmatrix für das Hauptmaximum entnommen wurden um analog zu Gl. (16) die Mittelwerte als weitere charakteristische Größe zu berechnen:

$$\begin{aligned} 2DISLR &= \frac{\sum_q c_q^2}{K_{NK}}, \quad c_q \text{ ausgewählt nach Kriterium 1,} \\ 2DISLRs &= \frac{\sum_q c_q^2}{K_{NKs}}, \quad c_q \text{ ausgewählt nach Kriterium 2,} \end{aligned} \quad (26)$$

Wobei K_{NK} und K_{NKs} jeweils die Anzahl der verbleibenden Korrelationswerte angibt.

Erneut könnten unter Berücksichtigung des Signal zu Rausch Gewinns SNR_{Gain} (siehe Gl. (18)) verschiedene Qualitätsmesszahlen berechnet werden

$$\begin{aligned} Q2DI &= \frac{SNR_{Gain}}{2DISLR} \\ Q2DIs &= \frac{SNR_{Gain}}{2DISLRs} \end{aligned} \quad (27)$$

und

$$\begin{aligned} Q2DP &= \frac{SNR_{Gain}}{2DPSLR} \\ Q2DPs &= \frac{SNR_{Gain}}{2DPSLRs} \end{aligned} \quad (28)$$

In zumindest manchen Ausführungsbeispielen könnte das größte Nebenmaximum auf $2DPSLR$, $2DPSLRs$, $Q2DP$ und/oder $Q2DPs$ basieren. In zumindest manchen Ausführungsbeispielen könnte die Summe der Nebenmaxima auf $2DISLR$, $2DISLRs$, $Q2DI$ und/oder $Q2DIs$ basieren.

Eine vollständige Suche in allen Codes bis zur Länge $L = 33$ hat ergeben, dass zahlreiche unipolare Codes existieren, die unter Anwendung dieser Kriterien besser für die Verwendung in der RMF (und vergleichbare Anwendungen, die unipolare Codes nutzen) geeignet sind. Beispielsweise könnten diese Codes/Sequenzen in Ausführungsbeispielen in der Lichtdetektion und Abstandsmessung (auch engl. Light Detection And Ranging, LIDAR), bei dem die

Pulsfolgen zeitlich moduliert werden genutzt werden, oder für Radar-Anwendungen bei denen keine bipolare Codierung möglich ist.

Fig.18 zeigt einen Vergleich der Qualitätsmesszahl $Q2DPs$ für die bekannten LABS (bestes LABS:1802) und die Beispiele aus der Klasse von Codes „ULABS“ aus Ausführungsbeispielen (bester Code: 1804, beste 10: 1806).

Fig. 19 zeigt eine beispielhafte Auflistung der jeweils besten betrachteten Sequenzen aus der Klasse der LABS und der ULABS bewertet nach der Qualitätsmesszahl $Q2DPs$. 1902 zeigt die Code-ID der Codes, 1904 eine Binärrepräsentation der Codes, 1906 die Codelänge, 1908 die Anzahl der Einsen im Binärcode, 1910 zeigt SNR_{Gain} und 1912 die Qualitätsmesszahl $Q2DPs$.

Fig. 20 zeigt einen Vergleich der Qualitätsmesszahl $Q2DP$ für die bekannten LABS (bestes LABS: 2002a) und die Beispiele aus der Klasse von Codes „ULABS“ aus Ausführungsbeispielen (bester Code: 2004a, beste 10: 2006a).

Fig. 21 zeigt eine beispielhafte Auflistung der jeweils besten Codes aus der Klasse der LABS und der ULABS bewertet nach der Qualitätsmesszahl $Q2DP$. 2102 zeigt die Code-ID der Codes, 2104 eine Binärrepräsentation der Codes, 2106 die Codelänge, 2108 die Anzahl der Einsen im Binärcode, 2110 zeigt SNR_{Gain} und 2112 die Qualitätsmesszahl $Q2DP$.

Zum Vergleich der Qualität ausgewählter Codes in Ausführungsbeispielen wurden anhand von simulierten Ereignissen die Erkennungsrate sowie die Fehlerkennungsrate aufgrund von Nebenmaxima und im Rauschen ermittelt. Dieser Vergleich erfolgte an einer für alle betrachteten Codes einheitlichen Eingangsverteilung (Fig. 22). Die Eingangsverteilung besteht in Ausführungsbeispielen aus 1000 Partikelsignalen 2202 mit Gaußverteilter Amplitude (0,01+-0,002) und Geschwindigkeit (450+-5mm/s. Für jeden betrachteten Code wurde so ein Rohsignal erzeugt und es wurde jeweils weißes Rauschen mit einer Standardabweichung von 0,002 addiert. Die Rohsignale unterscheiden sich also nur im Verlauf des Nutzsignales, das dem jeweils betrachteten Code folgt.

Die Rohsignale wurden jeweils mit balancierten Filterbänken, die einen Geschwindigkeitsbereich von 300mm/s bis 600mm/s abdecken, korreliert. Die Ereigniserkennung erfolgte durch einen einheitlichen Schwellenwertfaktor von 1,3. In einem

Zeitfenster von doppelter Laufzeit eines Partikels das mit 300mm/s durch die Messzone transportiert wird die mittlere Amplitude aller Maxima in der quadrierten Korrelationsmatrix ermittelt. Ein Maximum, das um den Schwellenwertfaktor höher liegt als dieser Mittelwert wird in Ausführungsbeispielen als Ereignis angesehen. Fig. 23, Fig.24, Fig.25 und Fig. 26 zeigen die erkannten Ereignisse von Ausführungsbeispielen für die jeweiligen Codes. Neben den in den obigen Tabellen aufgeführten Codes wurde zusätzlich zum Vergleich der B13Man26(13) hinzugenommen. Dieser Code wird aus dem Barker 13 Code (1111100110101) über eine Manchester Transformation ($1 \rightarrow 01$, $0 \rightarrow 10$) gewonnen und hat folglich die Länge 26.

Der Schwellenwertfaktor wurde in zumindest manchen Ausführungsbeispielen einheitlich gewählt und ist so eingestellt, dass alle Codes mehr als 99% der Ereignisse richtig erkennen. Alle Sequenzen ermöglichen in Ausführungsbeispielen gleichermaßen eine Erkennung von Ereignissen an der Rauschschwelle. Dies ist unproblematisch, da diese über einen globalen Amplitudenschwellenwert aussortiert werden könnten. Es zeigt sich aber, dass der Code Q2DPs26(15,#2) (Fig. 24) in Ausführungsbeispielen die weitaus wenigsten Fehlerkennungen aufweist. Für diesen Code könnte es also möglich sein weitere Ereignisse zwischen Rauschschwelle und Amplitude der Eingangsverteilung zu erkennen. Andere Sequenzen aus Ausführungsbeispielen könnten hier versagen, da die Fehlerkennungen durch Nebenmaxima weite Amplituden- und Geschwindigkeitsbereiche verdecken könnten.

Fig. 23 zeigt eine beispielhafte Ausgangsverteilung für das LABS26(16,#2) mit einer Positiverkennungsrate von 99,6%. 2302 (analog 2402, 2502, 2602) zeigt die Ereignisse, 2304 (analog 2404, 2504, 2604) Fehlerkennungen basierend auf einem Nebenmaximum und 2306 (analog 2406, 2506, 2606) Fehlerkennungen basierend auf Rauschen. Fig. 24 zeigt eine beispielhafte Ausgangsverteilung für das Q2DPs26(15,#2) mit einer Positiverkennungsrate von 99,8%. Fig. 25 zeigt eine beispielhafte Ausgangsverteilung für das Q1DI26(14,#1) mit einer Positiverkennungsrate von 99,8%. Fig. 26 zeigt eine beispielhafte Ausgangsverteilung für das B13Man26(13) mit einer Positiverkennungsrate von 99,8%.

Wird der mittlere zeitliche Abstand der Ereignisse in der Eingangsverteilung verringert, geht in Ausführungsbeispielen für alle Codes die Erkennungsrate zurück wie beispielhaft in Fig. 27 dargestellt. Am schlechtesten schneidet in manchen Ausführungsbeispielen der bereits bekannte LABS26 2706 ab. Die weiteren Codes sind in einer beispielhaften Evaluierung nahezu identisch, wobei leichte Vorteile für den Q2DPs26(15,#2) 2702 vorliegen. Fig.27 zeigt

beispielhaft eine Erkennungsrate als Funktion des mittleren Partikelabstandes in Einheiten der Maskenlänge, für Q1DI26(14, #1) 2702 (analog 2802, 2902), Q2DPs26(15, #2) 2704 (analog 2804, 2904), LABS26 (16, #2) 2706 (analog 2806, 2906) und B13Man26(13) 2708 (analog 2808, 2908).

Die Fehlerkennungsrate im Rauschen verhält sich weitgehende einheitlich für die betrachteten Codes in betrachteten Ausführungsbeispielen. Die Abnahme mit zunehmender Partikeldichte ist konsistent, da die zeitlichen Anteile, in denen sich kein Partikelbeitrag im Signal befindet mit zunehmender Partikeldichte weniger werden. Es könnten also anteilig weniger Fehlerkennungen im Rauschen stattfinden. Fig. 28 zeigt die Fehlerkennungsrate von Ausführungsbeispielen im Rauschen als Funktion des mittleren Partikelabstandes in Einheiten der Maskenlänge.

Eine wichtige Erkenntnis in Ausführungsbeispielen könnte sich nun beim beispielhaften Vergleich der Nebenmaximahäufigkeit (Fig. 29) zeigen. Das konventionelle LABS26(16,#2) 2906 schneidet in beispielhaften Ausführungsbeispielen am schlechtesten ab. B13Man26(13) 2908 und Q1DI26(14,#1) 2902 sind besser. Für beide Codes ergibt sich ein besseres Q2DPs als für den LABS26(16,#2) 2906, obwohl diese Codes nicht auf Q2DPs optimiert sind. Bezüglich der Nebenmaximalhäufigkeit verhält sich Q2DPs26(15,#2) 2904 besser, der weitaus die wenigsten Nebenmaxima in beispielhaften Ausführungsbeispielen erkennt. Fig. 29 zeigt die Fehlerkennungsrate aufgrund von Nebenmaxima als Funktion des mittleren Partikelabstandes in Einheiten der Maskenlänge.

In einer Strukturgrößennotation für Codes wird gezählt, wie oft ein Symbol eines Codes in direkter Folge wiederholt wird. Am Beispiel des Barker Code 13 bedeutet dies:

$$[1; 1; 1; 1; 1; 0; 0; 1; 1; 0; 1; 0; 1] \rightarrow [5; 2; 2; 1; 1; 1; 1] \quad (29)$$

Die Strukturgrößennotation ist kürzer. Der Mittelwert der Strukturgrößen wird mittlere Strukturgröße genannt. Fig. 30 vergleicht die mittlere Strukturgröße für die besten 2D-Codes 3004a und 3006a aus Ausführungsbeispielen mit den LABS 3002a. Die mittlere Strukturgröße liegt für konventionelle LABS 3002a in einem Bereich nahe 2. Für zunehmendes L (L>40, nicht dargestellt) könnte dieser Zusammenhang noch schärfer werden. Codes mit dem Besten Q2DP 3004a und Q2DPs 3006a könnten sich beispielsweise bevorzugt bei 1,5 bis 1,6 finden. Dies

könnte als Kriterium genutzt werden, wonach ein Berechnungsmodul, etwa das Berechnungsmodul 24, bei hohen Codelängen nicht für alle Codes die aufwändig zu ermittelnden Werte Q2DP und Q2DPs berechnen könnte, die Mehrzahl von möglichen Sequenzen einschränken könnte, oder die Teilmenge der möglichen Sequenzen einschränken könnte. Fig. 30 zeigte einen Zusammenhang zwischen mittlerer Strukturgröße und Codelänge verglichen für die besten Codes nach den Kriterien Q2DP 3004a und Q2DPs 3006a sowie für LABS 3002a.

Im Fall von experimentellen Aufbauten (z.B. Array-Detektoren), in denen die mehrere Modulationsfolgen auf ein Ereignis aufgeprägt werden könnten könnte es sich anbieten, Sequenzen mit verschiedenen Eigenschaften zu nutzen um die Erkennung zu verbessern. So könnte zum Beispiel ein Partikel mit einem optimalen 2D LABS erkannt werden und anschließend mit einer streng periodischen Sequenz (etwa 010101010101010 ...) die Geschwindigkeit ermittelt werden.

Fig. 31 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung 10 für ein Zytometer 100. Die Vorrichtung 10 ist ausgebildet zur Bereitstellung von Information über ein oder mehrere Zellen in einem Medium in einem Kanal 110. Die Vorrichtung umfasst ein Sensormodul 12, das ausgebildet ist, um ein gefiltertes Signal zu erfassen. Das gefilterte Signal wird von den durch den Kanal 110 strömenden Zellen beeinflusst.

In Ausführungsbeispielen könnte das Sensormodul 12 beispielsweise einem lichtempfindlichen Sensor, einem Photodetektor, einem Photosensor, einem Strahlungsdetektor oder einem Strahlungssensor entsprechen. In zumindest manchen Ausführungsbeispielen könnte das Sensormodul 12 ausgebildet sein, Lichtsignale zu erfassen. Alternativ oder zusätzlich könnte das Sensormodul 12 ausgebildet sein, Signale aus elektromagnetische Wellen zu erfassen. In zumindest manchen Ausführungsbeispielen könnte das Sensormodul 12 ein oder mehrere Sensoreinheiten umfassen.

Der Kanal 110 könnte beispielsweise einem Flüssigkeitskanal oder einem Flusszytometriekanal entsprechen. Der Kanal 110 könnte beispielsweise ausgebildet sein, das Medium, welches beispielsweise einer Suspension oder einem Fluid entsprechen könnte, welches die ein oder mehreren Zellen umfasst, entlang des Sensormoduls 12 zu transportieren oder zu leiten. Das Medium könnte beispielsweise mittels eines Pumpenmoduls durch den Kanal transportiert

werden. In zumindest manchen Ausführungsbeispielen könnte das Zytometer 100 einem Durchflusszytometer und/oder einem Fluoreszenz-basierten Durchflusszytometer entsprechen. In einigen Ausführungsbeispielen könnte das Zytometer 100 beispielsweise einem Zytometer 100 mit Sortierfunktionalität entsprechen, beispielsweise basierend auf Fluoreszenz-aktivierter Zellen-Sortierung (auch engl. Fluorescence-Activated Cell Sorting, FACS).

Die Vorrichtung 10 umfasst ferner ein Filter 14. Das Filter 14 ist ausgebildet, um eine vorgegebene Sequenz räumlich abzubilden. Das Filter 14 ist ausgebildet, um basierend auf der Sequenz und einem von den durch den Kanal strömenden Zellen beeinflussten Signal das gefilterte Signal bereitzustellen. In zumindest manchen Ausführungsbeispielen könnte das Filter 14 einer Filtermaske entsprechen. Die Filtermaske könnte beispielsweise ausgebildet sein, das von den durch den Kanal strömenden Zellen beeinflussten Signal räumlich abzuschatten um das gefilterte Signal bereitzustellen. Das Signal könnte beispielsweise auf den ein oder mehreren Zellen basieren, sie beispielsweise von einem Stimulationsmodul angeregt werden, beispielsweise mittels Fluoreszenz basierend auf einem Laser. Die Filtermaske könnte ausgebildet sein, das durch die Fluoreszenz emittierte Licht räumlich basierend auf der Sequenz abzuschatten um das gefilterte Signal bereitzustellen. Alternativ oder zusätzlich könnte das Filter 14 das Stimulationsmodul abschatten, so dass beispielsweise die ein oder mehreren Zellen basierend auf der Sequenz angeregt werden und/oder das Filter könnte ein oder mehrere Stimulationsquellen umfassen, welche ausgebildet sind, basierend auf der Sequenz die ein oder mehreren Zellen anzuregen, um das gefilterte Signal bereitzustellen.

Die Vorrichtung 10 umfasst ferner ein Kontrollmodul 16, das ausgebildet ist, um die Information über die ein oder mehreren Zellen basierend auf einer Korrelationsanalyse des erfassten gefilterten Signals und zumindest einer zeitlichen Skalierung der Sequenz bereitzustellen. Die Sequenz beschreibt zeitlich aufeinanderfolgende Signalzustände. Die Folge der Signalzustände innerhalb der Sequenz ist derart gewählt, dass ein Nebenmaximum in einer Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz gegenüber einem durch unterschiedliche Anordnungen der Signalzustände in der Sequenz maximal erzielbaren Nebenmaximum in der Korrelationsfunktion reduziert.

In Ausführungsbeispielen kann das Kontrollmodul 16 einem beliebigen Controller oder Prozessor oder einer programmierbaren Hardwarekomponente entsprechen. Beispielsweise kann das Kontrollmodul 16 auch als Software realisiert sein, die für eine entsprechende

Hardwarekomponente programmiert ist. Insofern kann das Kontrollmodul 16 als programmierbare Hardware mit entsprechend angepasster Software implementiert sein. Dabei können beliebige Prozessoren, wie Digitale Signalprozessoren (DSPs) zum Einsatz kommen. Ausführungsbeispiele sind dabei nicht auf einen bestimmten Typ von Prozessor eingeschränkt. Es sind beliebige Prozessoren oder auch mehrere Prozessoren zur Implementierung des Kontrollmoduls 16 denkbar.

In zumindest manchen Ausführungsbeispielen könnte eine Folge der Signalzustände innerhalb der zumindest einen Sequenz derart gewählt sein, dass eine Summe, die auf Nebenmaxima der Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz basiert, gegenüber einer durch unterschiedliche Anordnungen der Signalzustände in der Sequenz maximal erzielbaren Summe, die auf aus der unterschiedlichen Anordnung resultierenden Nebenmaxima basiert, reduziert ist.

Die Folge der Signalzustände innerhalb der zumindest einen Sequenz könnte derart gewählt sein, dass ein größtes Nebenmaximum der Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz gegenüber einem durch unterschiedliche Anordnungen der Signalzustände in der Sequenz maximal erzielbaren größten Nebenmaximum reduziert ist.

In einigen Ausführungsbeispielen könnte die Summe, die auf den Nebenmaxima basiert, unter einem ersten Schwellenwert liegen. Das größte Nebenmaximum könnte beispielsweise unter einem zweiten Schwellenwert liegen.

In zumindest einigen Ausführungsbeispielen könnte der erste Schwellenwert einer zweitniedrigsten Summe, die auf Nebenmaxima von Korrelationsfunktionen möglicher Sequenzen basiert, entsprechen. Der zweite Schwellenwert könnte beispielsweise einem größten Nebenmaximum einer Sequenz mit einem zweitniedrigsten größten Nebenmaximum der Korrelationsfunktionen entspricht.

In zumindest manchen Ausführungsbeispielen könnte die Sequenz einer unipolaren Sequenz entsprechen. In zumindest manchen Ausführungsbeispielen könnte das Filter 14 balanciert sein.

Mehr Details und Aspekte der Vorrichtung 10 (z.B. Sequenz, Korrelationsfunktion, zeitliche Skalierung, zeitlich aufeinanderfolgende Signalzustände, erster Schwellenwert, zweiter

Schwellenwert, unipolare Sequenz) werden in Verbindung mit dem Konzept oder Beispielen genannt, die vorher (z.B. Fig. 1 bis 30) beschrieben wurden. Die Vorrichtung 10 kann ein oder mehrere zusätzliche optionale Merkmale umfassen, die ein oder mehreren Aspekten des vorgeschlagenen Konzepts oder der beschriebenen Beispiele entsprechen, wie sie vorher oder nachher beschrieben wurden.

Fig. 32 zeigt ein Blockdiagramm eines Ausführungsbeispiels eines Zytometers 100. Das Zytometer umfasst eine Vorrichtung 10 sowie einen Kanal 110. Die Vorrichtung 10 ist ausgebildet, Information über ein oder mehrere Zellen in einem Medium in dem Kanal 110 dem Zytometer 100 bereitzustellen.

Mehr Details und Aspekte des Zytometers 100 (z.B. Zytometer 100, Vorrichtung 10, Kanal 110) werden in Verbindung mit dem Konzept oder Beispielen genannt, die vorher (z.B. Fig. 1 bis 31) beschrieben wurden. Das Zytometer 100 kann ein oder mehrere zusätzliche optionale Merkmale umfassen, die ein oder mehreren Aspekten des vorgeschlagenen Konzepts oder der beschriebenen Beispiele entsprechen, wie sie vorher oder nachher beschrieben wurden.

Fig. 33 zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Bereitstellen von Information über zumindest eine Sequenz. Die zumindest eine Sequenz beschreibt zeitlich aufeinanderfolgende Signalzustände. Das Verfahren umfasst Erhalten 32 von Information über eine Anzahl der Signalzustände und Generieren 34 einer Mehrzahl von möglichen Sequenzen, basierend auf der Information über die Anzahl der Signalzustände. Das Verfahren umfasst ferner Berechnen 36 von Korrelationsfunktionen zwischen einer Sequenz und zumindest einer zeitlichen Skalierung der Sequenz für zumindest eine Teilmenge der möglichen Sequenzen. Eine Korrelationsfunktion umfasst ein Hauptmaximum und ein oder mehrere Nebenmaxima. Das Verfahren umfasst ferner Bestimmen 38 der zumindest eine Sequenz basierend auf den Korrelationsfunktionen. Die Folge der Signalzustände innerhalb der zumindest einen Sequenz ist derart gewählt, dass ein Nebenmaximum in einer Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz gegenüber einem durch unterschiedliche Anordnungen der Signalzustände in der Sequenz maximal in einer Korrelationsfunktion erzielbaren Nebenmaximum reduziert ist. Das Verfahren umfasst ferner Bestimmen 40 der Information über die zumindest eine Sequenz basierend auf der zumindest einen Sequenz, und Bereitstellen 42 der Information über die zumindest eine Sequenz.

Fig. 34 zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens zur Bereitstellung von Information über ein oder mehrere Zellen in einem Medium in einem Kanal 110. Die Vorrichtung umfasst Erfassen 52 eines gefilterten Signals. Das gefilterte Signal wird von den durch den Kanal 110 strömenden Zellen beeinflusst. Das Verfahren umfasst ferner Bereitstellen 54 des gefilterten Signals basierend auf einer vorgegebenen Sequenz, einem von den durch den Kanal strömenden Zellen beeinflussten Signal und einer räumlichen Abbildung der Sequenz. Das Verfahren umfasst ferner Bereitstellen 56 der Information über die ein oder mehreren Zellen basierend auf einer Korrelationsanalyse des erfassten gefilterten Signals und zumindest einer zeitlichen Skalierung der Sequenz. Die Sequenz beschreibt zeitlich aufeinanderfolgende Signalzustände. Die Folge der Signalzustände innerhalb der Sequenz ist derart gewählt, dass ein Nebenmaximum in einer Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz gegenüber einem durch unterschiedliche Anordnungen der Signalzustände in der Sequenz maximal erzielbaren Nebenmaximum in der Korrelationsfunktion reduziert ist.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel ist ein Computerprogramm zur Durchführung zumindest eines der oben beschriebenen Verfahren, wenn das Computerprogramm auf einem Computer, einem Prozessor oder einer programmierbaren Hardwarekomponente abläuft. Ein weiteres Ausführungsbeispiele ist auch ein digitales Speichermedium, das maschinen- oder computerlesbar ist, und das elektronisch lesbare Steuersignale aufweist, die mit einer programmierbaren Hardwarekomponente so zusammenwirken können, dass eines der oben beschriebenen Verfahren ausgeführt wird.

Die in der vorstehenden Beschreibung, den nachfolgenden Ansprüchen und den beigelegten Figuren offenbarten Merkmale können sowohl einzeln wie auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung eines Ausführungsbeispiels in ihren verschiedenen Ausgestaltungen von Bedeutung sein und implementiert werden.

Obwohl manche Aspekte im Zusammenhang mit einer Vorrichtung beschrieben wurden, versteht es sich, dass diese Aspekte auch eine Beschreibung des entsprechenden Verfahrens darstellen, sodass ein Block oder ein Bauelement einer Vorrichtung auch als ein entsprechender Verfahrensschritt oder als ein Merkmal eines Verfahrensschrittes zu verstehen ist. Analog dazu stellen Aspekte, die im Zusammenhang mit einem oder als ein Verfahrensschritt beschrieben wurden, auch eine Beschreibung eines entsprechenden Blocks oder Details oder Merkmals einer entsprechenden Vorrichtung dar.

Je nach bestimmten Implementierungsanforderungen können Ausführungsbeispiele der Erfindung in Hardware oder in Software implementiert sein. Die Implementierung kann unter Verwendung eines digitalen Speichermediums, beispielsweise einer Floppy-Disk, einer DVD, einer Blu-Ray Disc, einer CD, eines ROM, eines PROM, eines EPROM, eines EEPROM oder eines FLASH-Speichers, einer Festplatte oder eines anderen magnetischen oder optischen Speichers durchgeführt werden, auf dem elektronisch lesbare Steuersignale gespeichert sind, die mit einer programmierbaren Hardwarekomponente derart zusammenwirken können oder zusammenwirken, dass das jeweilige Verfahren durchgeführt wird.

Eine programmierbare Hardwarekomponente kann durch einen Prozessor, einen Computerprozessor (CPU = Central Processing Unit), einen Grafikprozessor (GPU = Graphics Processing Unit), einen Computer, ein Computersystem, einen anwendungsspezifischen integrierten Schaltkreis (ASIC = Application-Specific Integrated Circuit), einen integrierten Schaltkreis (IC = Integrated Circuit), ein Ein-Chip-System (SOC = System on Chip), ein programmierbares Logikelement oder ein feldprogrammierbares Gatterarray mit einem Mikroprozessor (FPGA = Field Programmable Gate Array) gebildet sein.

Das digitale Speichermedium kann daher maschinen- oder computerlesbar sein. Manche Ausführungsbeispiele umfassen also einen Datenträger, der elektronisch lesbare Steuersignale aufweist, die in der Lage sind, mit einem programmierbaren Computersystem oder einer programmierbaren Hardwarekomponente derart zusammenzuwirken, dass eines der hierin beschriebenen Verfahren durchgeführt wird. Ein Ausführungsbeispiel ist somit ein Datenträger (oder ein digitales Speichermedium oder ein computerlesbares Medium), auf dem das Programm zum Durchführen eines der hierin beschriebenen Verfahren aufgezeichnet ist.

Allgemein können Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung als Programm, Firmware, Computerprogramm oder Computerprogrammprodukt mit einem Programmcode oder als Daten implementiert sein, wobei der Programmcode oder die Daten dahin gehend wirksam ist bzw. sind, eines der Verfahren durchzuführen, wenn das Programm auf einem Prozessor oder einer programmierbaren Hardwarekomponente abläuft. Der Programmcode oder die Daten kann bzw. können beispielsweise auch auf einem maschinenlesbaren Träger oder Datenträger gespeichert sein. Der Programmcode oder die Daten können unter anderem als Quellcode, Maschinencode oder Bytecode sowie als anderer Zwischencode vorliegen.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel ist ferner ein Datenstrom, eine Signalfolge oder eine Sequenz von Signalen, der bzw. die das Programm zum Durchführen eines der hierin beschriebenen Verfahren darstellt bzw. darstellen. Der Datenstrom, die Signalfolge oder die Sequenz von Signalen kann bzw. können beispielsweise dahin gehend konfiguriert sein, um über eine Datenkommunikationsverbindung, beispielsweise über das Internet oder ein anderes Netzwerk, transferiert zu werden. Ausführungsbeispiele sind so auch Daten repräsentierende Signalfolgen, die für eine Übersendung über ein Netzwerk oder eine Datenkommunikationsverbindung geeignet sind, wobei die Daten das Programm darstellen.

Ein Programm gemäß einem Ausführungsbeispiel kann eines der Verfahren während seiner Durchführung beispielsweise dadurch umsetzen, dass dieses Speicherstellen ausliest oder in diese ein Datum oder mehrere Daten hinein schreibt, wodurch gegebenenfalls Schaltvorgänge oder andere Vorgänge in Transistorstrukturen, in Verstärkerstrukturen oder in anderen elektrischen, optischen, magnetischen oder nach einem anderen Funktionsprinzip arbeitenden Bauteile hervorgerufen werden. Entsprechend können durch ein Auslesen einer Speicherstelle Daten, Werte, Sensorwerte oder andere Informationen von einem Programm erfasst, bestimmt oder gemessen werden. Ein Programm kann daher durch ein Auslesen von einer oder mehreren Speicherstellen Größen, Werte, Messgrößen und andere Informationen erfassen, bestimmen oder messen, sowie durch ein Schreiben in eine oder mehrere Speicherstellen eine Aktion bewirken, veranlassen oder durchführen sowie andere Geräte, Maschinen und Komponenten ansteuern.

Ausführungsbeispiele können beispielsweise genutzt werden, um verbesserte Codes zu bestimmen, die folgende Vorteile aufweisen können:

- Signifikant verringerte Fehlererkennungsrate
- Verbesserte Erkennung im Fall überlappender Signale
- Verbesserte Sensitivität für Signale geringer Amplitude im Fall der Überlappung mit Signalen höherer Amplitude

Die oben beschriebenen Ausführungsbeispiele stellen lediglich eine Veranschaulichung der Prinzipien der vorliegenden Erfindung dar. Es versteht sich, dass Modifikationen und Variationen der hierin beschriebenen Anordnungen und Einzelheiten anderen Fachleuten einleuchten werden. Deshalb ist beabsichtigt, dass die Erfindung lediglich durch den

Schutzzumfang der nachstehenden Patentansprüche und nicht durch die spezifischen Einzelheiten, die anhand der Beschreibung und der Erläuterung der Ausführungsbeispiele hierin präsentiert wurden, beschränkt sei.

Die Forschungsarbeiten, die zu diesen Ergebnissen geführt haben, wurden von der Europäischen Union gefördert.

Ansprüche

1. Vorrichtung (20) zum Bereitstellen von Information über zumindest eine Sequenz, wobei die zumindest eine Sequenz zeitlich aufeinanderfolgende Signalzustände beschreibt, die Vorrichtung (20) umfassend

eine Schnittstelle (22), die ausgebildet ist, um Information über eine Anzahl der Signalzustände zu erhalten; und

ein Berechnungsmodul (24), welches ausgebildet ist, um:

eine Mehrzahl von möglichen Sequenzen zu generieren, basierend auf der Information über die Anzahl der Signalzustände,

für zumindest eine Teilmenge der möglichen Sequenzen Korrelationsfunktionen zwischen einer Sequenz und zumindest einer zeitlichen Skalierung der Sequenz zu berechnen, wobei eine Korrelationsfunktion ein Hauptmaximum und ein oder mehrere Nebenmaxima umfasst,

die zumindest eine Sequenz basierend auf den Korrelationsfunktionen zu bestimmen, wobei die Folge der Signalzustände innerhalb der zumindest einen Sequenz derart gewählt ist, dass ein Nebenmaximum in einer Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz gegenüber einem durch unterschiedliche Anordnungen der Signalzustände in der Sequenz maximal in einer Korrelationsfunktion erzielbaren Nebenmaximum reduziert ist, und

die Information über die zumindest eine Sequenz basierend auf der zumindest einen Sequenz zu bestimmen und über die Schnittstelle (22) bereitzustellen.

2. Vorrichtung (20) gemäß Anspruch 1, wobei das Berechnungsmodul (24) ausgebildet ist, um die zumindest eine Sequenz basierend auf den Korrelationsfunktionen zu bestimmen, wobei die Folge der Signalzustände innerhalb der zumindest einen Sequenz

derart gewählt ist, dass eine Summe, die auf den Nebenmaxima einer Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz basiert, gegenüber einer durch unterschiedliche Anordnungen der Signalzustände in der Sequenz maximal erzielbaren Summe, die auf aus der unterschiedlichen Anordnung resultierenden Nebenmaxima basiert, reduziert ist, und/oder wobei die Folge der Signalzustände innerhalb der zumindest einen Sequenz derart gewählt ist, dass ein größtes Nebenmaximum in der Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz gegenüber einem durch unterschiedliche Anordnungen der Signalzustände in der Sequenz maximal erzielbaren größten Nebenmaximum reduziert ist.

3. Vorrichtung gemäß Anspruch 2, wobei das Berechnungsmodul (24) ausgebildet ist, um die zumindest eine Sequenz so zu bestimmen, dass die Summe, die auf den Nebenmaxima basiert, unter einem ersten Schwellenwert liegt, und/oder wobei das Berechnungsmodul (24) ausgebildet ist, um die zumindest eine Sequenz so zu bestimmen, dass das größte Nebenmaximum unter einem zweiten Schwellenwert liegt.
4. Vorrichtung gemäß Anspruch 3, wobei der erste Schwellenwert einer zweitniedrigsten Summe, die auf den Nebenmaxima der Korrelationsfunktionen basiert, entspricht, und/oder wobei der zweite Schwellenwert einem größten Nebenmaximum einer Sequenz mit einem zweitniedrigsten größten Nebenmaximum der Korrelationsfunktionen entspricht.
5. Vorrichtung (20) gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Berechnungsmodul (24) ausgebildet ist, um bereinigte Korrelationsfunktionen basierend auf den Korrelationsfunktionen zu bestimmen, wobei das Berechnungsmodul (24) ausgebildet ist, um einen Beitrag von Hauptmaxima in den bereinigten Korrelationsfunktionen zu reduzieren, und wobei das Berechnungsmodul (24) ausgebildet ist, um die Information über die zumindest eine Sequenz basierend auf den bereinigten Korrelationsfunktionen zu bestimmen.
6. Vorrichtung (20) gemäß Anspruch 5, wobei das Berechnungsmodul (24) ausgebildet ist, um unter den Hauptmaxima der Korrelationsfunktionen ein größtes Hauptmaximum zu bestimmen, und wobei das Berechnungsmodul (24) ausgebildet ist, um über die

zeitliche Ausdehnung des größten Hauptmaximums den Beitrag der Hauptmaxima in den bereinigten Korrelationsfunktionen zu reduzieren.

7. Vorrichtung (20) gemäß Anspruch 6, wobei das Berechnungsmodul (24) ausgebildet ist, um basierend auf einer zeitlichen Position des größten Hauptmaximums und basierend auf der Korrelationsfunktion der zeitlich skalierten Sequenz die das größte Hauptmaximum umfasst, die Beiträge der Hauptmaxima in den bereinigten Korrelationsfunktionen der zeitlich skalierten Sequenz und benachbarten zeitlichen Skalierungen der Sequenz zu bestimmen und zu reduzieren.
8. Vorrichtung (20) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Sequenz eine mittlere Strukturgröße hat, wobei eine Strukturgröße auf einer Anzahl von gleichen aufeinanderfolgenden Signalzuständen basiert, und wobei das Berechnungsmodul (24) ausgebildet ist, um die Mehrzahl von möglichen Sequenzen basierend auf einem Zielbereich für die mittlere Strukturgröße zu generieren und/oder wobei das Berechnungsmodul (24) ausgebildet ist, die Teilmenge der möglichen Sequenzen basierend auf der mittleren Strukturgröße und/oder dem Zielbereich für die mittlere Strukturgröße zu bestimmen.
9. Vorrichtung (20) gemäß Anspruch 8, wobei die mittlere Strukturgröße einem Durchschnitt der Strukturgrößen einer Sequenz entspricht, und wobei der Zielbereich für die mittlere Strukturgröße zwischen 1,3 und 1,8 liegt.
10. Vorrichtung (20) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Berechnungsmodul (24) ausgebildet ist, um die Mehrzahl von möglichen Sequenzen als unipolare Sequenzen zu bestimmen.
11. Vorrichtung (20) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Sequenz einer Binärsequenz entspricht und wobei die Binärsequenz zeitlich äquidistante aufeinanderfolgende Signalzustände beschreibt.
12. Vorrichtung (10) für ein Zytometer (100), zur Bereitstellung von Information über ein oder mehrere Zellen in einem Medium in einem Kanal (110), die Vorrichtung umfassend

ein Sensormodul (12), das ausgebildet ist, um ein gefiltertes Signal zu erfassen, wobei das gefilterte Signal von den durch den Kanal (110) strömenden Zellen beeinflusst wird,

ein Filter (14), das ausgebildet ist, um eine vorgegebene Sequenz räumlich abzubilden, und ausgebildet ist, um basierend auf der Sequenz und einem von den durch den Kanal strömenden Zellen beeinflussten Signal das gefilterte Signal bereitzustellen, und

ein Kontrollmodul (16) das ausgebildet ist, um die Information über die ein oder mehreren Zellen basierend auf einer Korrelationsanalyse des erfassten gefilterten Signals und zumindest einer zeitlichen Skalierung der Sequenz bereitzustellen,

wobei die Sequenz zeitlich aufeinanderfolgende Signalzustände beschreibt, und wobei die Folge der Signalzustände innerhalb der Sequenz derart gewählt ist, dass ein Nebenmaximum in einer Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz gegenüber einem durch unterschiedliche Anordnungen der Signalzustände in der Sequenz maximal erzielbaren Nebenmaximum in der Korrelationsfunktion reduziert ist.

13. Vorrichtung (10) gemäß Anspruch 12, wobei eine Folge der Signalzustände innerhalb der zumindest einen Sequenz derart gewählt ist, dass eine Summe, die auf Nebenmaxima der Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz basiert, gegenüber einer durch unterschiedliche Anordnungen der Signalzustände in der Sequenz maximal erzielbaren Summe, die auf aus der unterschiedlichen Anordnung resultierenden Nebenmaxima basiert, reduziert ist, und/oder wobei die Folge der Signalzustände innerhalb der zumindest einen Sequenz derart gewählt ist, dass ein größtes Nebenmaximum der Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz gegenüber einem durch unterschiedliche Anordnungen der Signalzustände in der Sequenz maximal erzielbaren größten Nebenmaximum reduziert ist.

14. Vorrichtung (10) gemäß Anspruch 13, wobei die Summe, die auf den Nebenmaxima basiert, unter einem ersten Schwellenwert liegt, und/oder wobei das größte Nebenmaximum unter einem zweiten Schwellenwert liegt.

15. Vorrichtung gemäß Anspruch 14, wobei der erste Schwellenwert einer zweitniedrigsten Summe, die auf Nebenmaxima von Korrelationsfunktionen möglicher Sequenzen basiert, entspricht, und/oder wobei der zweite Schwellenwert einem größten Nebenmaximum einer Sequenz mit einem zweitniedrigsten größten Nebenmaximum der Korrelationsfunktionen entspricht.
16. Vorrichtung (10) gemäß einem der Ansprüche 12 bis 15, wobei die Sequenz einer unipolaren Sequenz entspricht.
17. Zytometer (100) umfassend eine Vorrichtung (10) gemäß einem der Ansprüche 12 bis 16 sowie einen Kanal (110), wobei die Vorrichtung (10) ausgebildet ist, Information über ein oder mehrere Zellen in einem Medium in dem Kanal (110) dem Zytometer (100) bereitzustellen.
18. Verfahren zum Bereitstellen von Information über zumindest eine Sequenz, wobei die zumindest eine Sequenz zeitlich aufeinanderfolgende Signalzustände beschreibt, das Verfahren umfassend
- Erhalten (32) von Information über eine Anzahl der Signalzustände,
- Generieren (34) einer Mehrzahl von möglichen Sequenzen, basierend auf der Information über die Anzahl der Signalzustände,
- Berechnen (36) von Korrelationsfunktionen zwischen einer Sequenz und zumindest einer zeitlichen Skalierung der Sequenz für zumindest eine Teilmenge der möglichen Sequenzen, wobei eine Korrelationsfunktion ein Hauptmaximum und ein oder mehrere Nebenmaxima umfasst,
- Bestimmen (38) der zumindest eine Sequenz basierend auf den Korrelationsfunktionen, wobei die Folge der Signalzustände innerhalb der zumindest einen Sequenz derart gewählt ist, dass ein Nebenmaximum in einer Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz gegenüber einem durch unterschiedliche Anordnungen der Signalzustände in der Sequenz maximal in einer Korrelationsfunktion erzielbaren Nebenmaximum reduziert ist, und

Bestimmen (40) der Information über die zumindest eine Sequenz basierend auf der zumindest einen Sequenz, und

Bereitstellen (42) der Information über die zumindest eine Sequenz.

19. Verfahren zur Bereitstellung von Information über ein oder mehrere Zellen in einem Medium in einem Kanal (110), die Vorrichtung umfassend

Erfassen (52) eines gefilterten Signals, wobei das gefilterte Signal von den durch den Kanal (110) strömenden Zellen beeinflusst wird,

Bereitstellen (54) des gefilterten Signals basierend auf einer vorgegebenen Sequenz, einem von den durch den Kanal strömenden Zellen beeinflussten Signal und einer räumlichen Abbildung der Sequenz, und

Bereitstellen (56) der Information über die ein oder mehreren Zellen basierend auf einer Korrelationsanalyse des erfassten gefilterten Signals und zumindest einer zeitlichen Skalierung der Sequenz,

wobei die Sequenz zeitlich aufeinanderfolgende Signalzustände beschreibt, und wobei die Folge der Signalzustände innerhalb der Sequenz derart gewählt ist, dass ein Nebenmaximum in einer Korrelationsfunktion der Sequenz mit der zumindest einen zeitlichen Skalierung der Sequenz gegenüber einem durch unterschiedliche Anordnungen der Signalzustände in der Sequenz maximal erzielbaren Nebenmaximum in der Korrelationsfunktion reduziert ist.

20. Computerprogramm mit einem Programmcode, der ein Durchführen eines der Verfahren der Ansprüche 18 und 19 bewirkt, wenn der Programmcode auf einem Prozessor oder einer programmierbaren Hardwarekomponente abläuft.

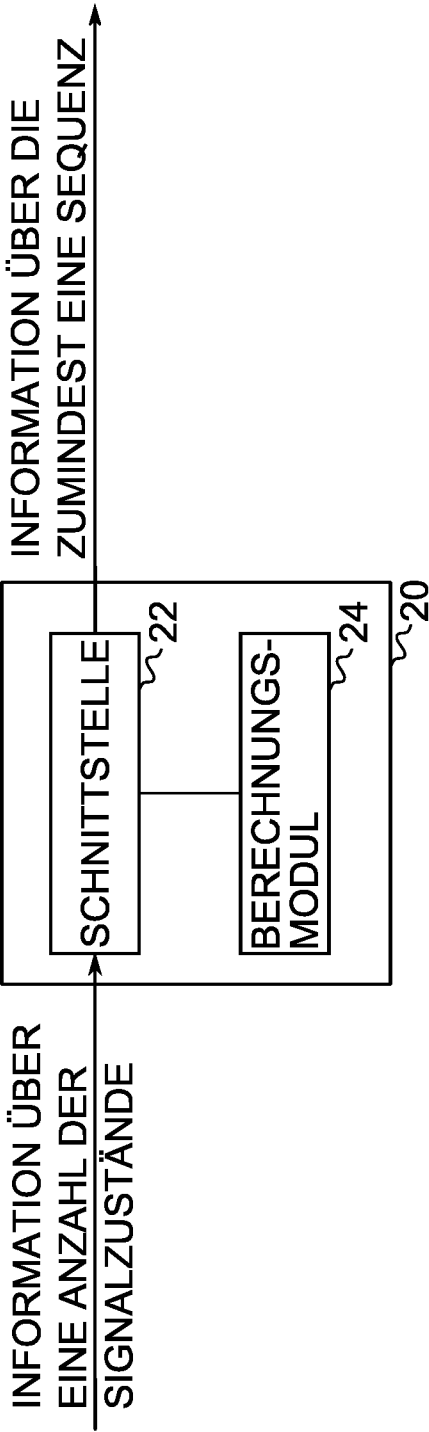


Fig. 1

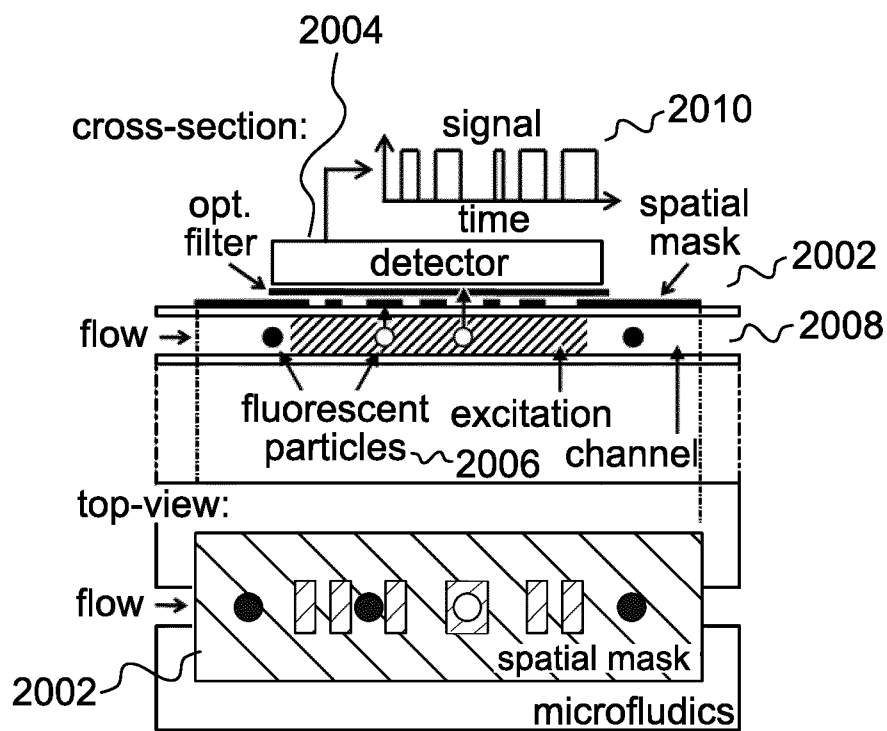


Fig. 2

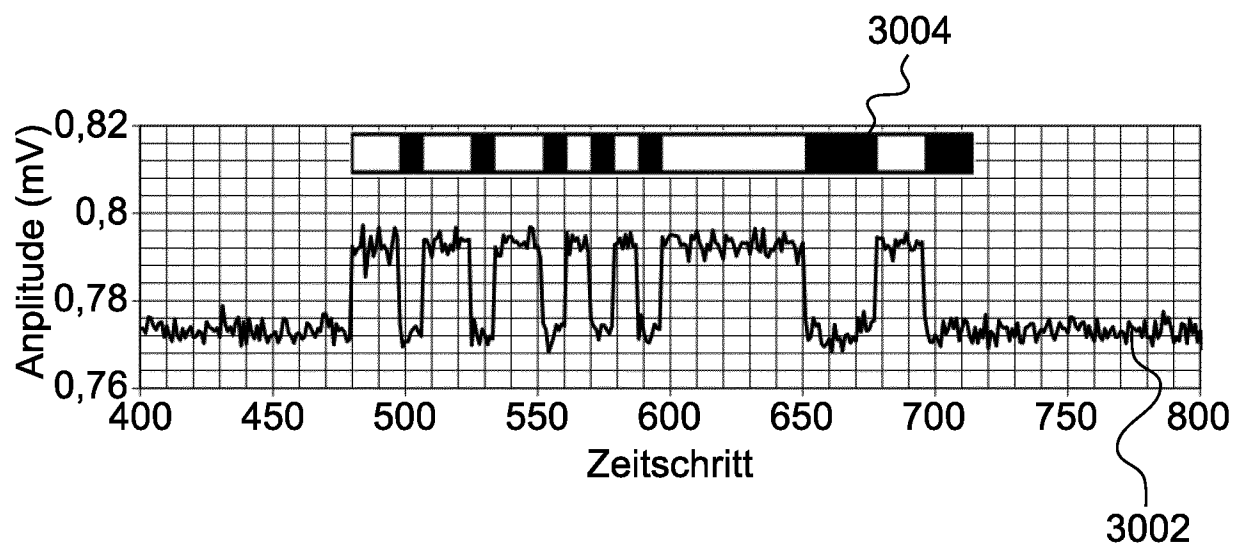


Fig. 3

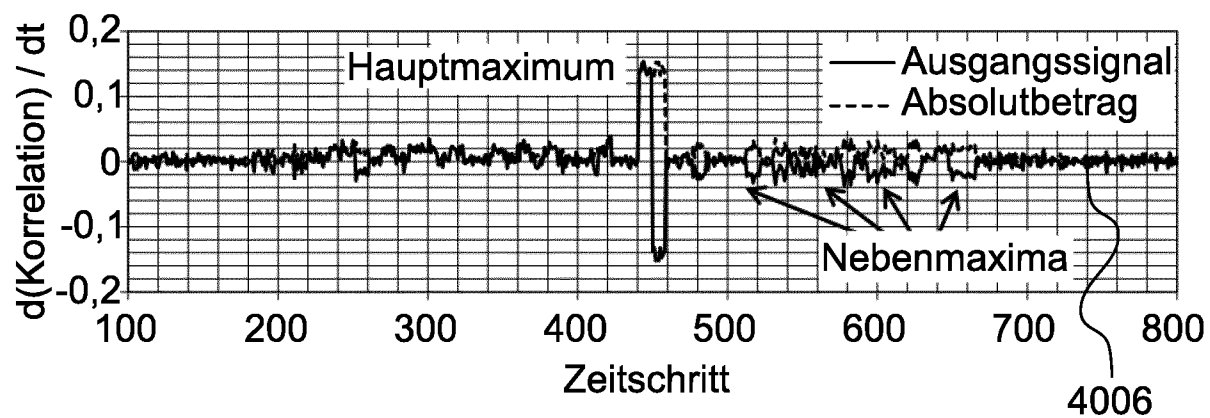
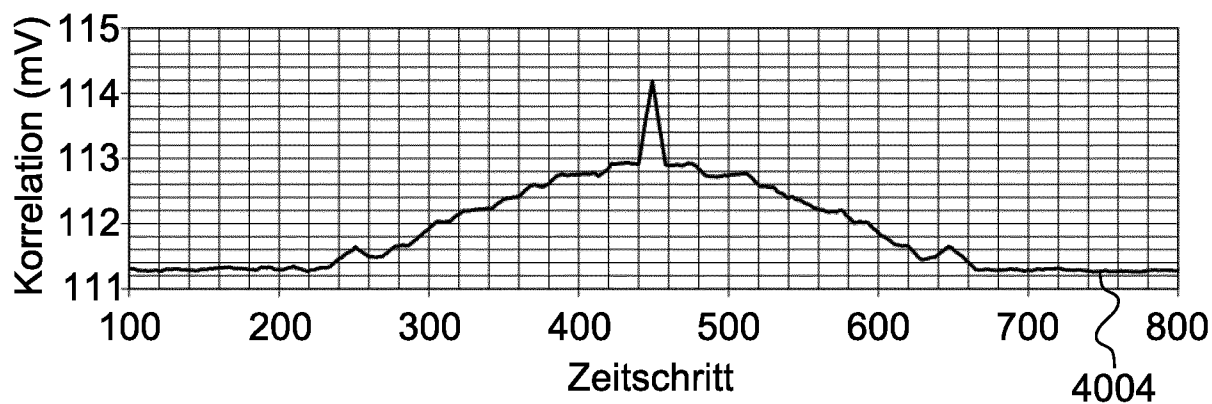
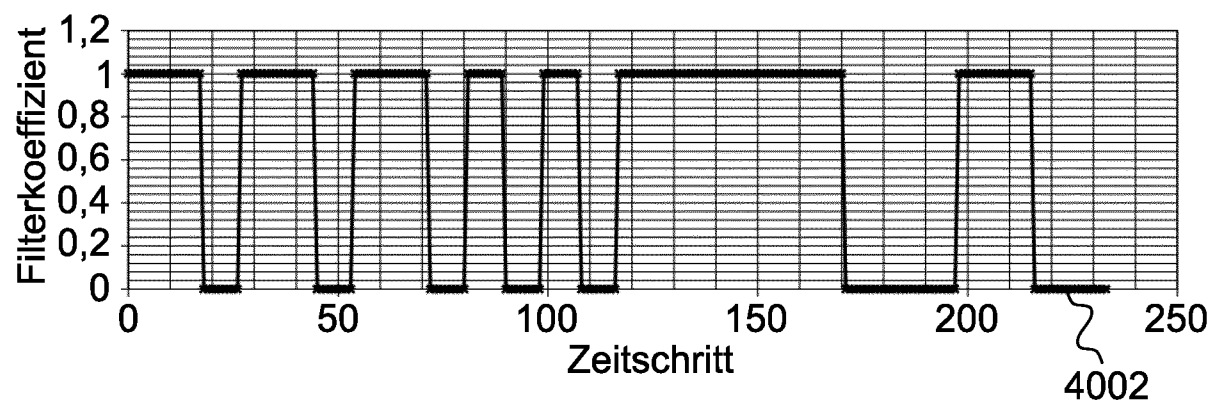


Fig. 4

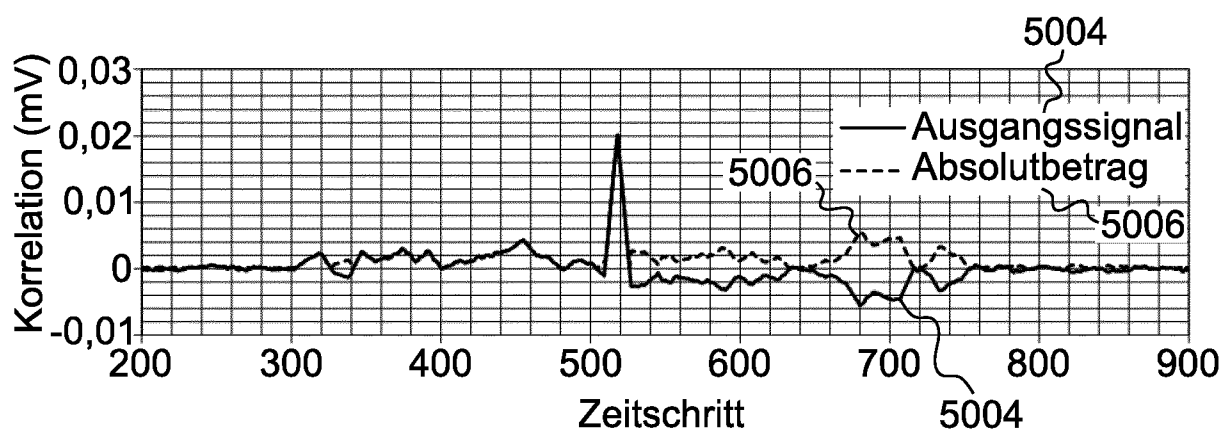
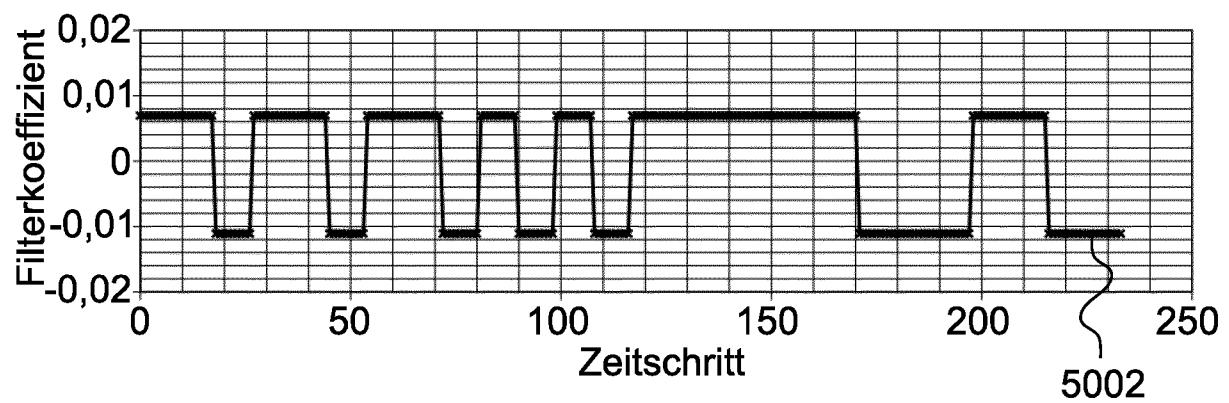


Fig. 5

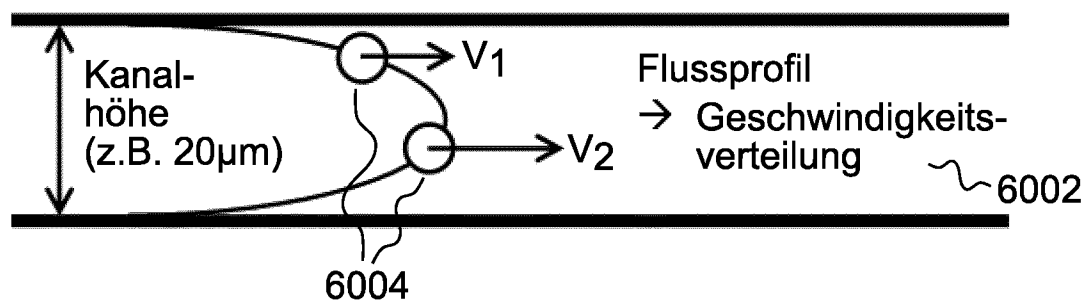


Fig. 6

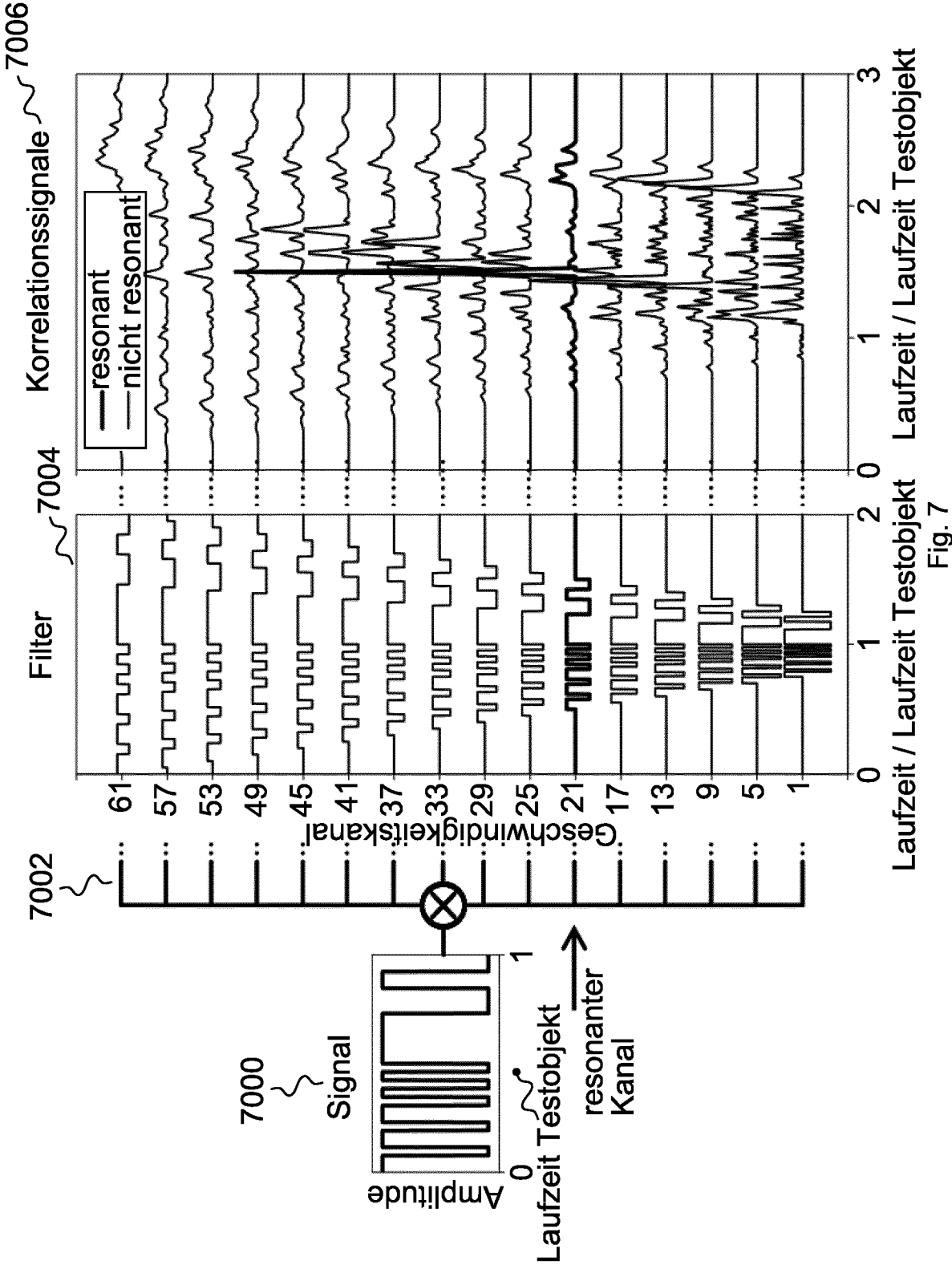


Fig. 7

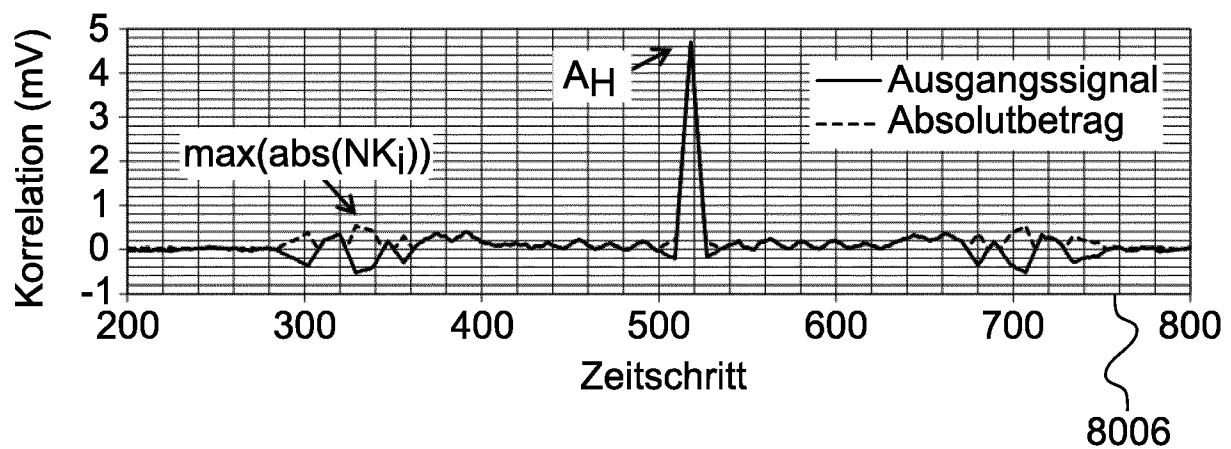
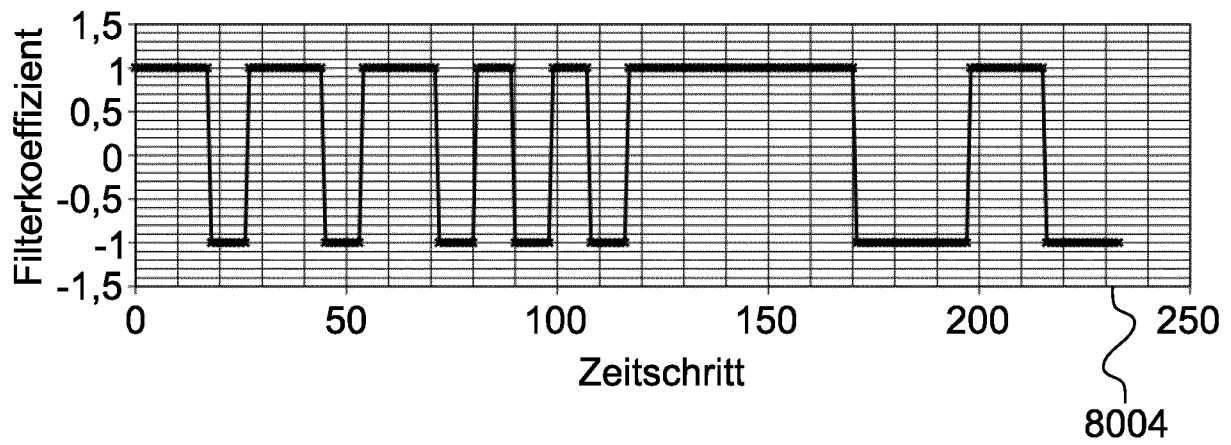
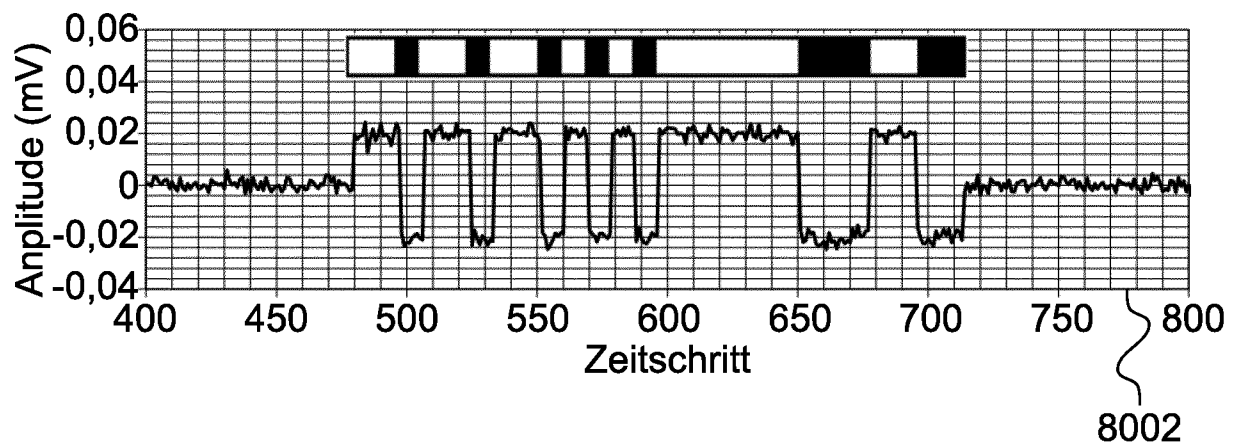


Fig. 8

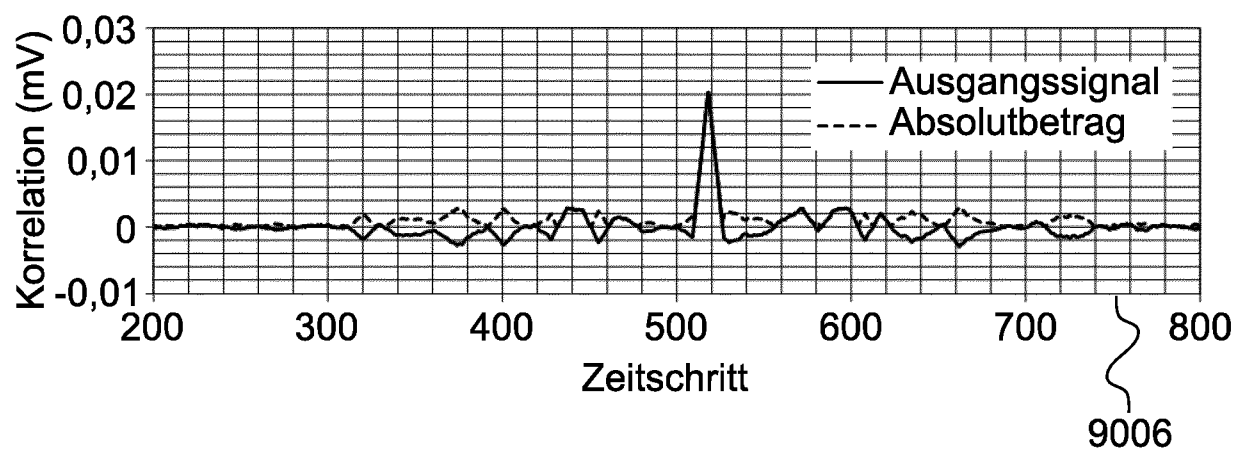
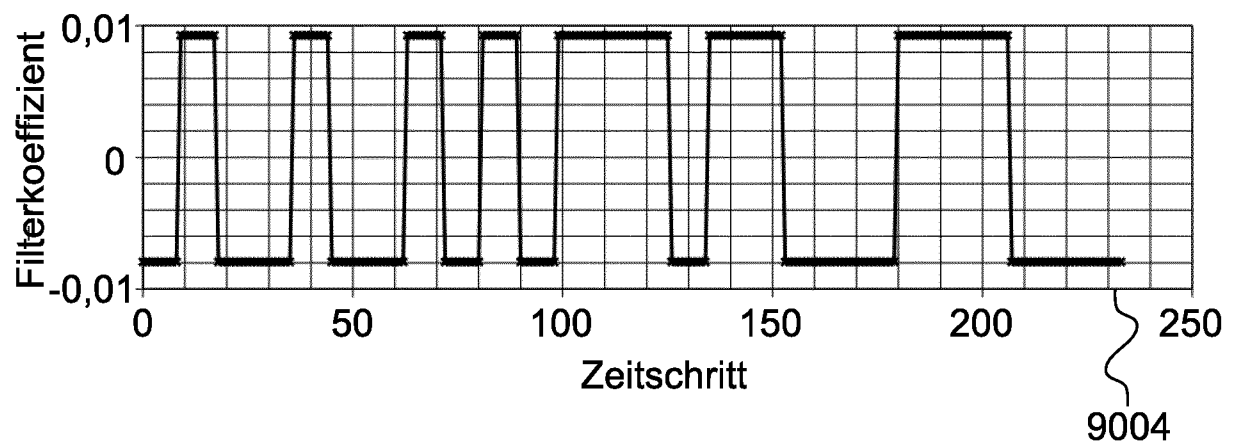
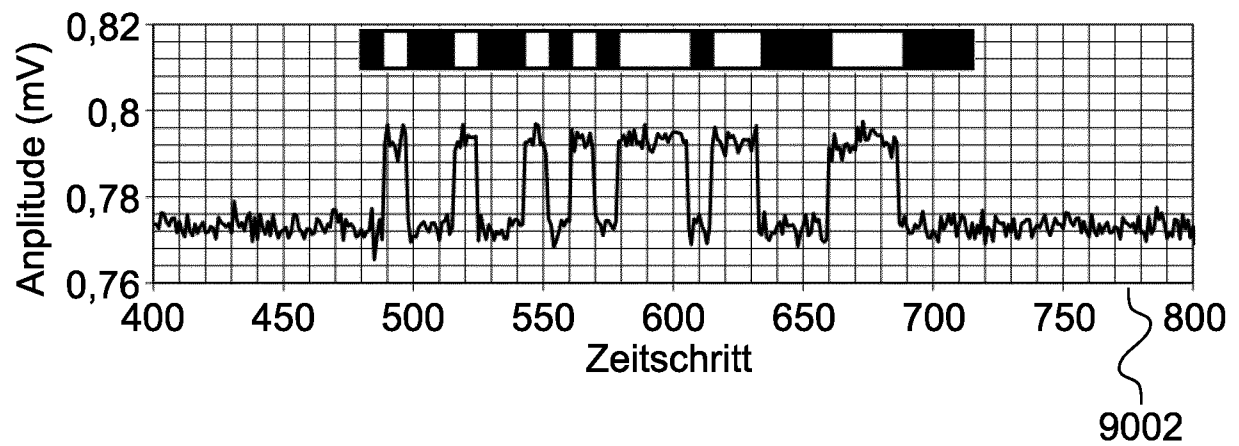


Fig. 9

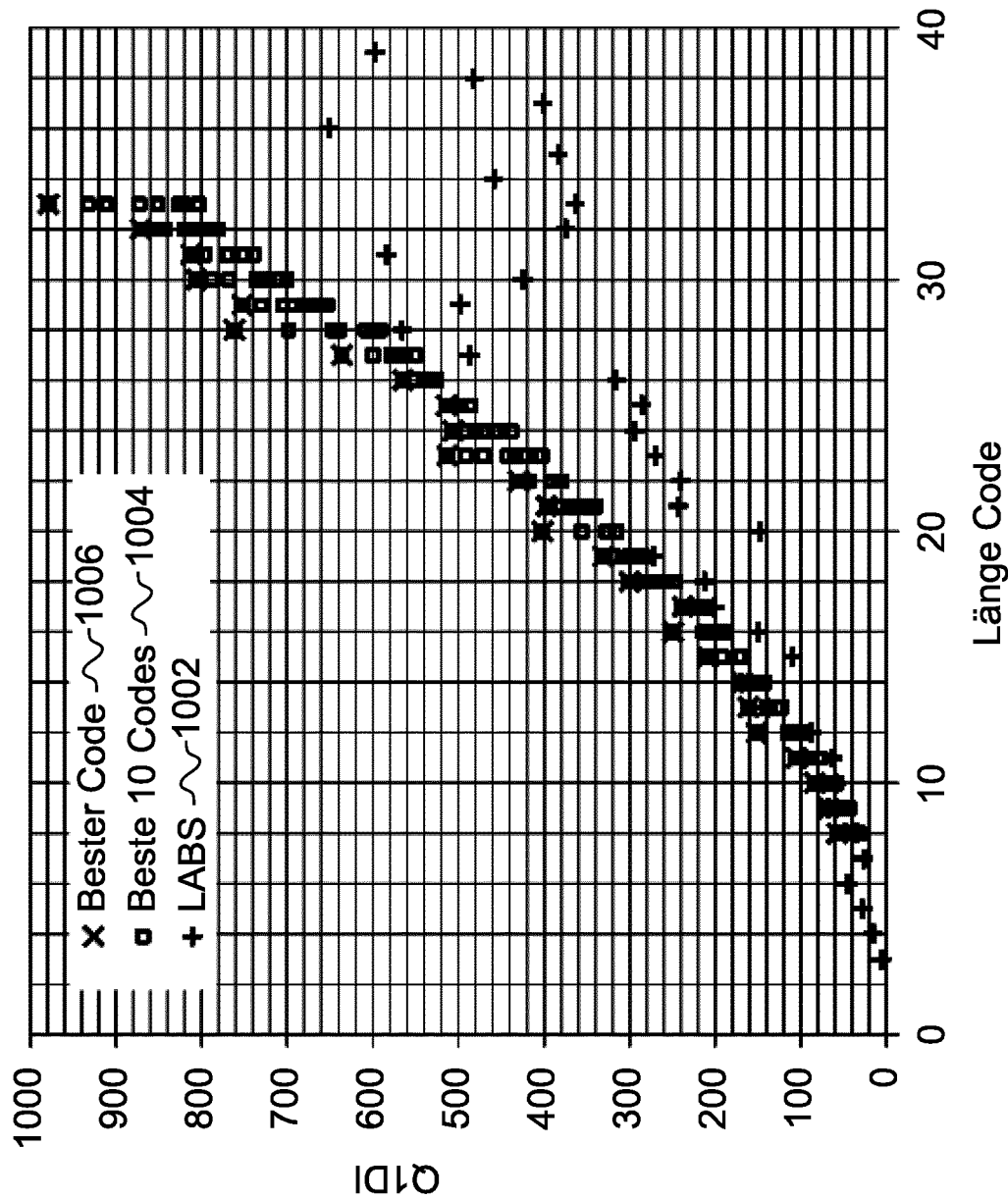


Fig. 10

Code-ID		Code	L		E	SNR	Gain	Q1DI
1114	ULABS-Q1D133(16,#1)	S10010011010101000110001111110000T	33	16		2,87		978,8
	ULABS-Q1D132(13,#1)	S100001110001001001001101110100000T	32	13		2,78		870,9
	ULABS-Q1D131(13,#1)	S100001110001001001001101110100000T	31	13		2,75		812,0
	ULABS-Q1D130(14,#1)	S0011001100101010101010011110000T	30	14		2,73		806,2
	ULABS-Q1D129(10,#1)	S0001100001100100010101010100000T	29	10		2,56		752,3
	ULABS-Q1D128(13,#1)	S0011000111010001011110100100T	28	13		2,64		761,6
	ULABS-Q1D127(13,#1)	S01001011101000101110001100T	27	13		2,60		635,8
	ULABS-Q1D126(14,#1)	S10100010110111111001000110T	26	14		2,54		564,7
	ULABS-Q1D125(10,#1)	S100010000011110010100100T	25	10		2,45		513,7
	ULABS-Q1D124(10,#1)	S000110011101000101101000T	24	10		2,42		505,9
	ULABS-Q1D123(10,#1)	S00101101000101110011000T	23	10		2,38		513,0
	ULABS-Q1D122(8,#1)	S01000100100111100000T	22	8		2,26		429,5
	ULABS-Q1D121(9,#1)	S01010000111011001000T	21	9		2,27		397,2
	ULABS-Q1D120(9,#1)	S0101000011101100100T	20	9		2,22		401,7
	ULABS-Q1D119(8,#1)	S100010001110100100T	19	8		2,15		331,1
	ULABS-Q1D118(7,#1)	S01000100111000010T	18	7		2,07		300,2
	ULABS-Q1D117(4,#1)	S00000110010100000T	17	4		1,75		237,9
	ULABS-Q1D116(4,#1)	S0000101001100000T	16	4		1,73		249,4
	ULABS-Q1D115(8,#1)	S100110101111000T	15	8		1,93		208,9
	ULABS-Q1D114(4,#1)	S00101001100000T	14	4		1,69		169,0
	ULABS-Q1D113(5,#1)	S1001011101001T	13	5		1,75		161,1
	ULABS-Q1D112(5,#1)	S010010111000T	12	5		1,71		151,9
	ULABS-Q1D111(5,#1)	S01001011100T	11	5		1,65		105,4
	ULABS-Q1D110(4,#1)	S0101001100T	10	4		1,55		83,7
	ULABS-Q1D109(3,#1)	S001101000T	9	3		1,41		67,9
	ULABS-Q1D108(3,#1)	S01011000T	8	3		1,37		57,5

Fig. 11 (1.Teil)

LABS - Q1D140(16,#1)	S0000111100001001011011101001000100010001T	40	16	3,10	1046,6
LABS - Q1D139(16,#1)	S00111001110100000001010100001011001001T	39	16	3,07	597,1
LABS - Q1D138(15,#1)	S00000001110000110100010101001010100110T	38	15	3,01	481,5
LABS - Q1D137(15,#1)	S00000001111000011010001010101010110011001T	37	15	2,99	401,5
LABS - Q1D136(15,#1)	S000111110001100010100010001001001010010T	36	15	2,96	650,9
LABS - Q1D135(14,#1)	S00000001001101100101011010100011100T	35	14	2,90	383,7
LABS - Q1D134(14,#1)	S001100110000000011110010110101010T	34	14	2,87	459,0
LABS - Q1D133(15,#1)	S1001100110101010101010001110000000T	33	15	2,86	363,8
LABS - Q1D132(14,#1)	S0000000111100101101010101010011001T	32	14	2,81	374,9
LABS - Q1D131(18,#1)	S101010110110100110011100111110000T	31	18	2,75	583,6
LABS - Q1D130(18,#1)	S0111001110101010101101111110000T	30	18	2,68	425,5
LABS - Q1D129(16,#1)	S00100101101110111011100001110T	29	16	2,68	497,9
LABS - Q1D128(16,#1)	S01110000110111011101101010010T	28	16	2,62	565,6
LABS - Q1D127(16,#1)	S010010110111011101110000111T	27	16	2,55	486,3
LABS - Q1D126(10,#1)	S11001110000001010100100100T	26	10	2,48	315,3
LABS - Q1D125(10,#1)	S0001110000000101011011001T	25	10	2,45	286,0
LABS - Q1D124(10,#1)	S110011100000010101001001T	24	10	2,42	294,6
LABS - Q1D123(13,#1)	S0111000111110101001001T	23	13	2,38	270,5
LABS - Q1D122(8,#1)	S0000010011010100111000T	22	8	2,26	240,4
LABS - Q1D121(8,#1)	S11000000010010101001T	21	8	2,23	243,9
LABS - Q1D120(12,#1)	S10101110011111100100T	20	12	2,19	148,9
LABS - Q1D119(6,#1)	S0100100010001110000T	19	6	2,03	271,6
LABS - Q1D118(6,#1)	S000001011010001100T	18	6	2,00	212,9
LABS - Q1D117(10,#1)	S00111110011010110T	17	10	2,03	201,1
LABS - Q1D116(6,#1)	S0010110100010001T	16	6	1,94	150,2
LABS - Q1D115(6,#1)	S111000100010010T	15	6	1,90	108,9
LABS - Q1D114(4,#1)	S00000110010100T	14	4	1,69	169,0
LABS - Q1D113(4,#1)	S0000011001010T	13	4	1,66	139,1

Fig. 11 (2.Teil)

LABS - Q1DI12(4,#1)	S011001010000T	12	4	1,63	88,4
LABS - Q1DI11(5,#1)	S01001000111T	11	5	1,65	62,7
LABS - Q1DI10(4,#1)	S1010011000T	10	4	1,55	59,1
LABS - Q1DI9(3,#1)	S000101100T	9	3	1,41	67,9
LABS - Q1DI8(3,#1)	S01101000T	8	3	1,37	35,1
LABS - Q1DI7(3,#1)	S1011000T	7	3	1,31	26,9
LABS - Q1DI6(1,#1)	S000010T	6	1	0,91	45,6
LABS - Q1DI5(1,#1)	S00010T	5	1	0,89	28,6
LABS - Q1DI4(1,#1)	S0001T	4	1	0,87	15,6
LABS - Q1DI3(1,#1)	S001T	3	1	0,82	6,5

Fig. 11 (3.Teil)

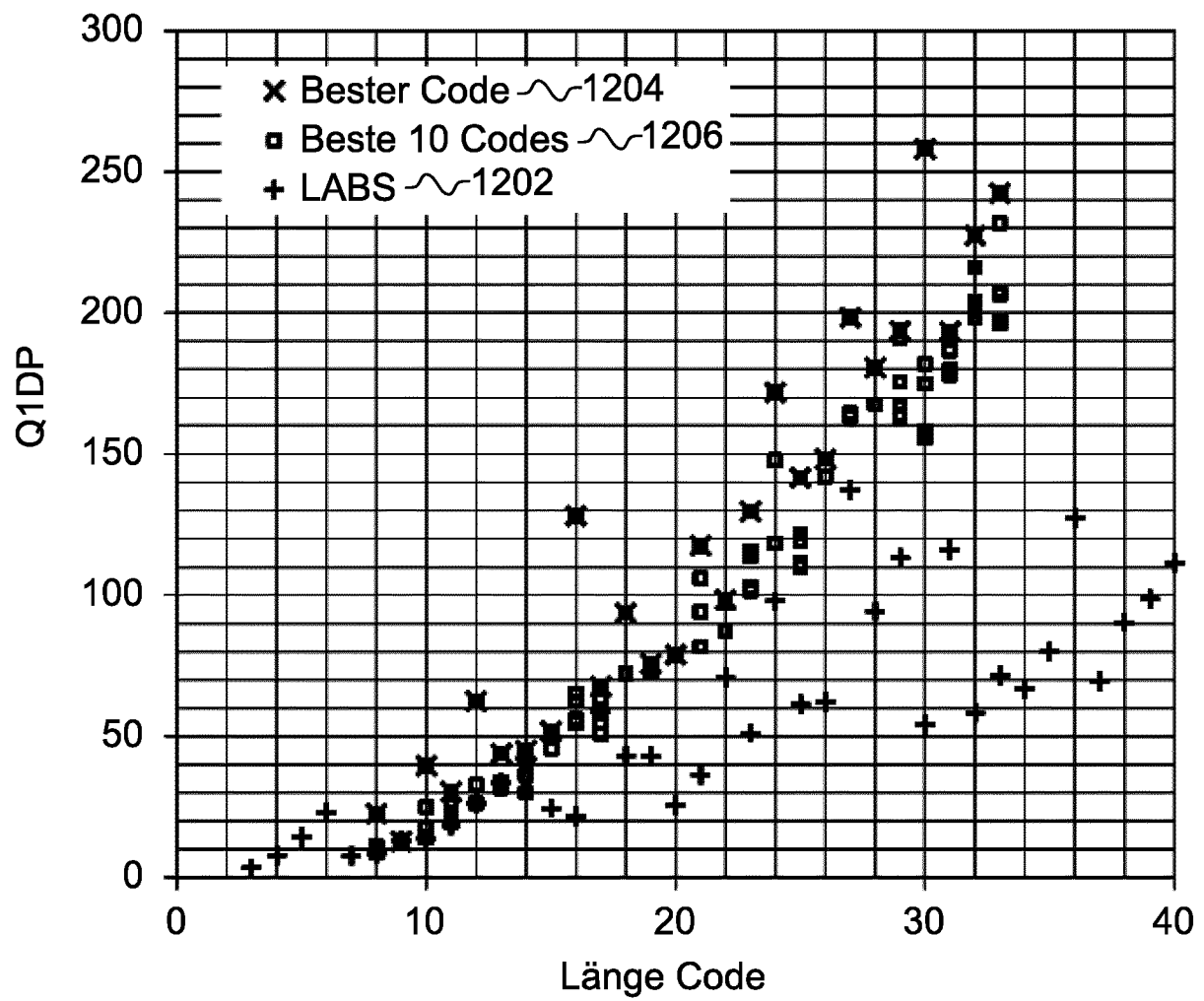


Fig. 12

Code-ID	Code	L	E	SNR Gain	Q1DI
ULABS-Q1DP33(10,#1)	S100010000011000101101001000000001T	33	10	2,64	242,5
ULABS-Q1DP32(14,#1)	S100001100010011111001001000101010T	32	14	2,81	227,3
ULABS-Q1DP31(12,#1)	S10001000001101111100001001000001T	31	12	2,71	193,4
ULABS-Q1DP30(10,#1)	S0001100001100100010101101000000T	30	10	2,58	258,2
ULABS-Q1DP29(11,#1)	S10000000111011010011000010100T	29	11	2,61	193,6
ULABS-Q1DP28(9,#1)	S100000100001110100001000100T	28	9	2,47	180,7
ULABS-Q1DP27(9,#1)	S010001000011010111000000100T	27	9	2,45	198,4
ULABS-Q1DP26(12,#1)	S01001001010111011000111000T	26	12	2,54	148,2
ULABS-Q1DP25(6,#1)	S0000101000001100110000000T	25	6	2,14	141,6
ULABS-Q1DP24(6,#1)	S000010100000110011000000T	24	6	2,12	171,8
ULABS-Q1DP23(6,#1)	S00001010000011001100000T	23	6	2,11	129,6
ULABS-Q1DP22(6,#1)	S0000110011000001010000T	22	6	2,09	98,2
ULABS-Q1DP21(9,#1)	S100000110111011000010T	21	9	2,27	117,6
ULABS-Q1DP20(8,#1)	S00110001010110110000T	20	8	2,19	78,9
ULABS-Q1DP19(7,#1)	S001000101110000100T	19	7	2,10	75,7
ULABS-Q1DP18(10,#1)	S101001011111001100T	18	10	2,11	93,7
ULABS-Q1DP17(5,#1)	S00010100100110000T	17	5	1,88	67,6
ULABS-Q1DP16(8,#1)	S1000011110110010T	16	8	2,00	128,0
ULABS-Q1DP15(4,#1)	S00001100101010000T	15	4	1,71	51,8
ULABS-Q1DP14(5,#1)	S10001101000001T	14	5	1,79	44,8
ULABS-Q1DP13(5,#1)	S1001011101001T	13	5	1,75	43,9
ULABS-Q1DP12(6,#1)	S100011110010T	12	6	1,73	62,4
ULABS-Q1DP11(6,#1)	S01011011100T	11	6	1,65	30,3
ULABS-Q1DP10(5,#1)	S1001011100T	10	5	1,58	39,5
ULABS-Q1DP9(3,#1)	S001101000T	9	3	1,41	12,7
ULABS-Q1DP8(4,#1)	S01011100T	8	4	1,41	22,6

Fig. 13 (1.Teil)

LABS-Q1DP40(16,#1)	S0000111100001001011011101001000100010001T	40	16	3,10	111,5
LABS-Q1DP39(16,#1)	S00000001101101001001110000111001010101T	39	16	3,07	98,5
LABS-Q1DP38(15,#1)	S0000000111100001101001010101001100110T	38	15	3,01	90,4
LABS-Q1DP37(16,#1)	S1101010001011110110001001000001100001T	37	16	3,01	69,4
LABS-Q1DP36(15,#1)	S00011111000110001010001001001010010T	36	15	2,96	127,4
LABS-Q1DP35(14,#1)	S00000001001101100101011010100011100T	35	14	2,90	79,9
LABS-Q1DP34(14,#1)	S0011001100000000111001011010101010T	34	14	2,87	66,9
LABS-Q1DP33(15,#1)	S100110011010101011010011110000000T	33	15	2,86	71,5
LABS-Q1DP32(12,#1)	S00000001010010101110001100100100110T	32	12	2,74	58,3
LABS-Q1DP31(18,#1)	S1010101101101100111001111110000T	31	18	2,75	116,1
LABS-Q1DP30(12,#1)	S100011000101010010010010000001111T	30	12	2,68	54,3
LABS-Q1DP29(16,#1)	S00100101101110111011100001110T	29	16	2,68	113,2
LABS-Q1DP28(16,#1)	S01111000011011101110111010010T	28	16	2,62	94,3
LABS-Q1DP27(16,#1)	S010010110111011101110000111T	27	16	2,55	137,3
LABS-Q1DP26(10,#1)	S11001110000001010100100100T	26	10	2,48	62,0
LABS-Q1DP25(10,#1)	S0001110000000101011011001T	25	10	2,45	61,2
LABS-Q1DP24(10,#1)	S100110110101000000011100T	24	10	2,42	97,8
LABS-Q1DP23(13,#1)	S0111000111110101001001T	23	13	2,38	51,2
LABS-Q1DP22(8,#1)	S1100011001001010100000T	22	8	2,26	70,8
LABS-Q1DP21(12,#1)	S101101011101110000011T	21	12	2,27	36,3
LABS-Q1DP20(8,#1)	S01010001100000011011T	20	8	2,19	25,8
LABS-Q1DP19(6,#1)	S0100100010001110000T	19	6	2,03	42,7
LABS-Q1DP18(9,#1)	S00001110101100110T	18	9	2,12	43,0
LABS-Q1DP17(10,#1)	S0001111101011001T	17	10	2,03	58,8
LABS-Q1DP16(6,#1)	S0000001110011010T	16	6	1,94	21,5
LABS-Q1DP15(6,#1)	S111000100010010T	15	6	1,90	24,6
LABS-Q1DP14(4,#1)	S00000110010100T	14	4	1,69	42,3
LABS-Q1DP13(4,#1)	S0000011001010T	13	4	1,66	33,7

Fig. 13 (2.Teil)

LABS-Q1DP12(4,#1)	S000001100101T	12	4	1,63	26,1
LABS-Q1DP11(5,#1)	S11100010010T	11	5	1,65	18,3
LABS-Q1DP10(4,#1)	S1010011000T	10	4	1,55	13,9
LABS-Q1DP9(3,#1)	S000101100T	9	3	1,41	12,7
LABS-Q1DP8(3,#1)	S01101000T	8	3	1,37	8,6
LABS-Q1DP7(4,#1)	S1110010T	7	4	1,31	7,5
LABS-Q1DP6(1,#1)	S000010T	6	1	0,91	22,8
LABS-Q1DP5(1,#1)	S00010T	5	1	0,89	14,3
LABS-Q1DP4(1,#1)	S0001T	4	1	0,87	7,8
LABS-Q1DP3(1,#1)	S001T	3	1	0,82	3,3

Fig. 13 (3.Teil)

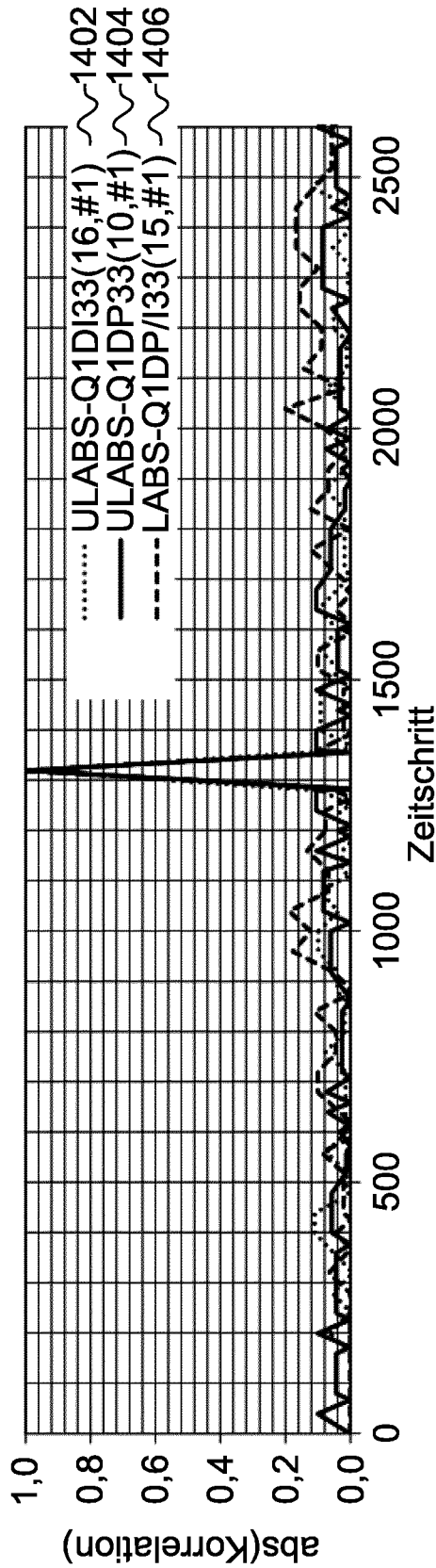


Fig. 14

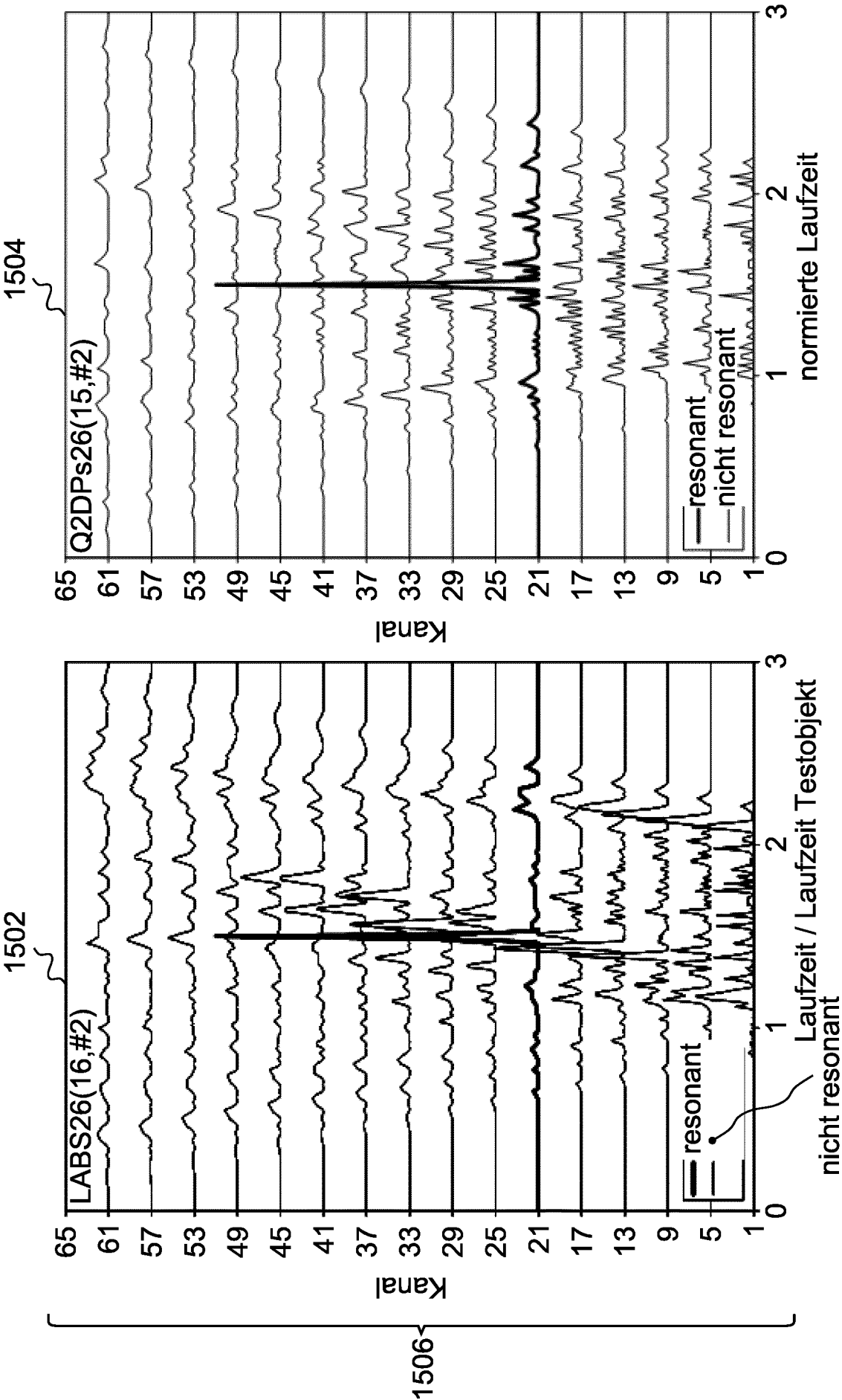


Fig. 15

ULABS-Q2DPs31(16,#1)
S0011010010111010101110100101100T

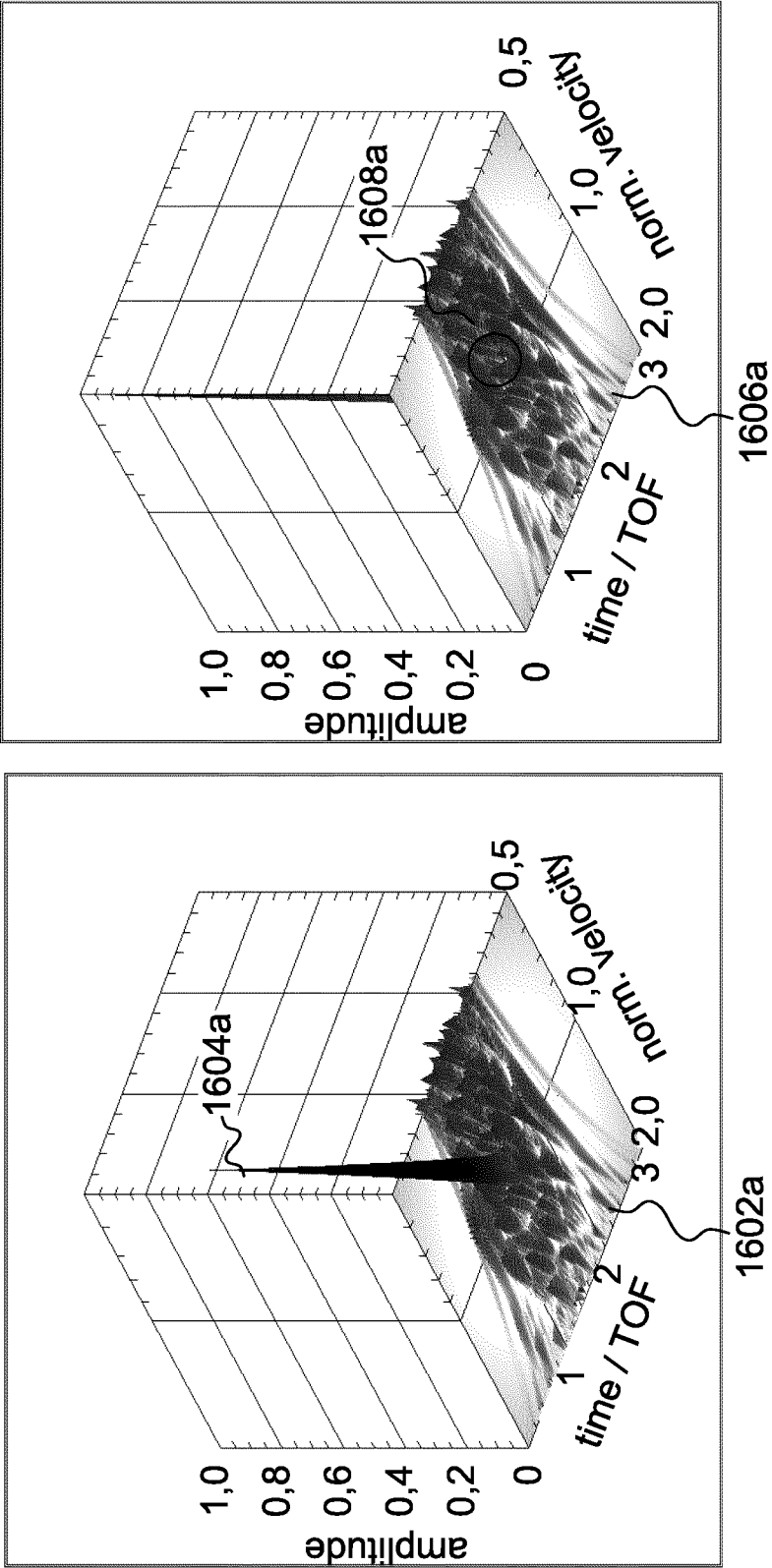


Fig. 16a

ULABS-Q2DPS31(16,#1)
S0011010010111010101110100101100101100T

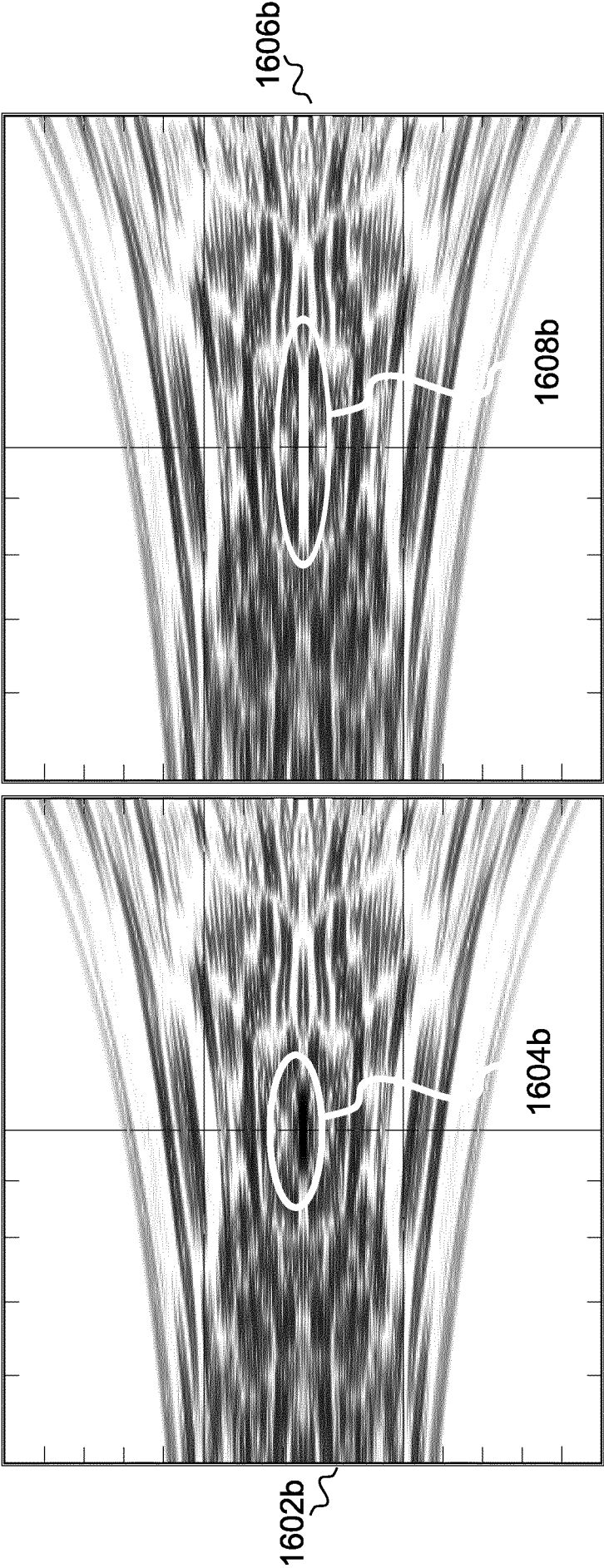


Fig. 16b

LABS-Q2DPs31(19,#1)
S111111000111001101100101011010T

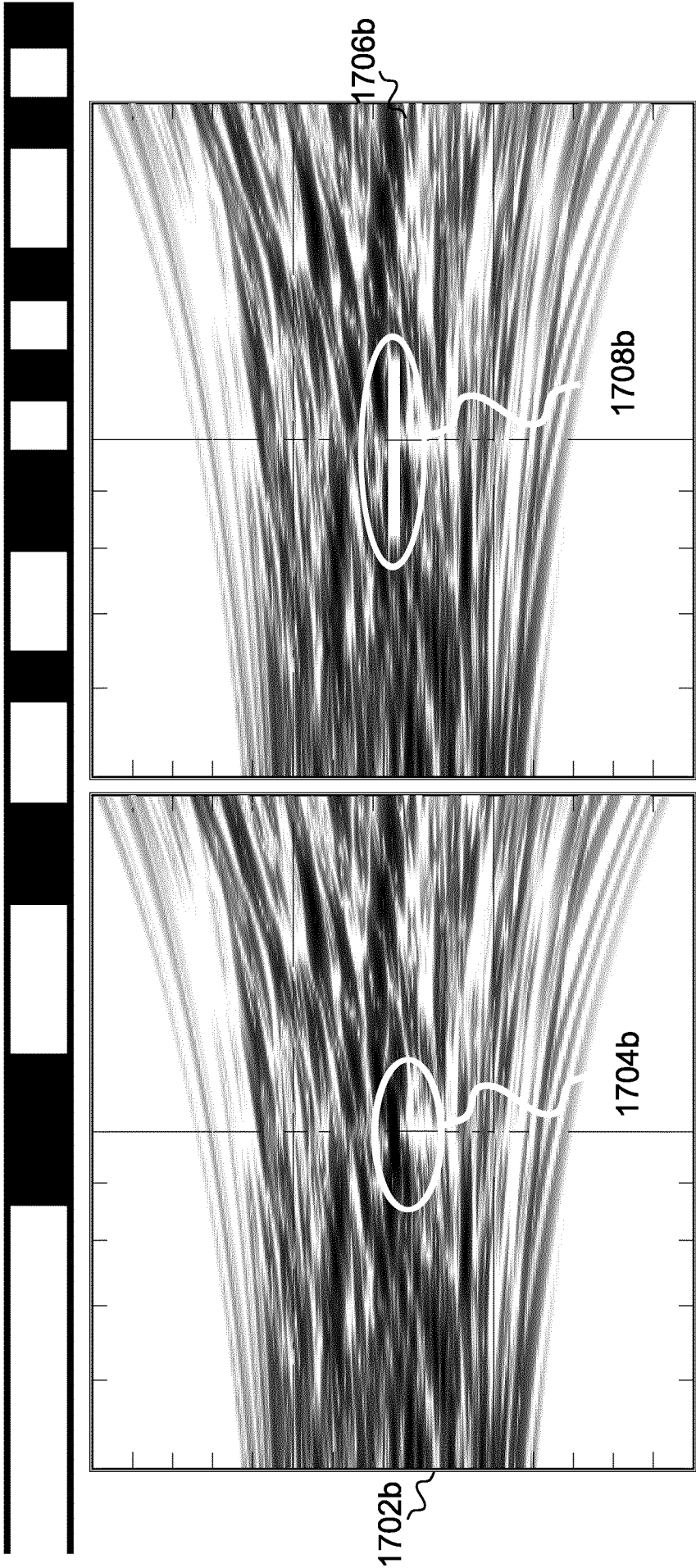


Fig. 17b

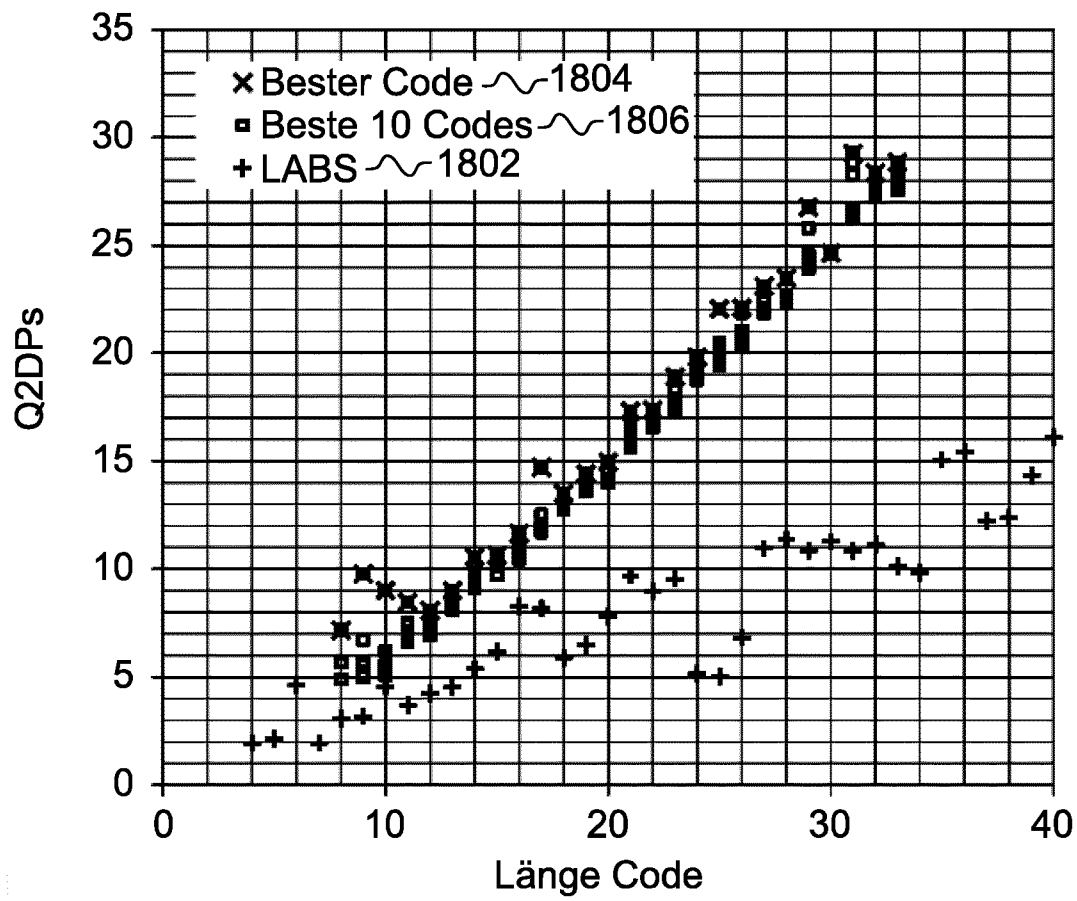


Fig. 18

Code-ID	Code	1902			1904			1906			1908			1910			1912		
		L	E	SNR	Gain	L	E	SNR	Gain	L	E	SNR	Gain	L	E	SNR	Gain	L	E
ULABS-Q2DPS33(19,#1)	S00111001010111101011101010011100T	33	19	2,84															
ULABS-Q2DPS32(16,#1)	S010011101000101010101011100010T	32	16	2,83															
ULABS-Q2DPS31(16,#1)	S0011010010111010101110100101100T	31	16	2,78															
ULABS-Q2DPS30(15,#1)	S0101100010010110101010111000T	30	15	2,74															
ULABS-Q2DPS29(15,#1)	S0001110101011010110101101011100T	29	15	2,69															
ULABS-Q2DPS28(14,#1)	S001110101010100011010110101101T	28	14	2,65															
ULABS-Q2DPS27(13,#1)	S01011000101010101011100100T	27	13	2,60															
ULABS-Q2DPS26(10,#1)	S01000011010101010110000010T	26	10	2,48															
ULABS-Q2DPS25(10,#1)	S0001001101100011011001000T	25	10	2,45															
ULABS-Q2DPS24(11,#1)	S001010111010100101101000T	24	11	2,44															
ULABS-Q2DPS23(11,#1)	S0001110101010101101011000T	23	11	2,40															
ULABS-Q2DPS22(11,#1)	S0101001011101010111000T	22	11	2,35															
ULABS-Q2DPS21(11,#1)	S010100101110101011100T	21	11	2,29															
ULABS-Q2DPS20(9,#1)	S00111010100010110100T	20	9	2,22															
ULABS-Q2DPS19(11,#1)	S0011110101010111100T	19	11	2,15															
ULABS-Q2DPS18(8,#1)	S010100011010110100T	18	8	2,11															
ULABS-Q2DPS17(10,#1)	S00111101010111100T	17	10	2,03															
ULABS-Q2DPS16(7,#1)	S0111001010100010T	16	7	1,98															
ULABS-Q2DPS15(5,#1)	S000110101010000T	15	5	1,83															
ULABS-Q2DPS14(4,#1)	S00010100101000T	14	4	1,69															
ULABS-Q2DPS13(7,#1)	S1001011101001T	13	7	1,80															
ULABS-Q2DPS12(2,#1)	S00001010000T	12	2	1,29															
ULABS-Q2DPS11(2,#1)	S0000101000T	11	2	1,28															
ULABS-Q2DPS10(2,#1)	S000101000T	10	2	1,26															
ULABS-Q2DPS9(2,#1)	S00010100T	9	2	1,25															
ULABS-Q2DPS8(2,#1)	S0010100T	8	2	1,22															

Fig. 19 (1.Teil)

LABS-Q2DPs40(18,#1)	S001000100010001111011100001110100101101010T	40	18	3,15	16,1
LABS-Q2DPs39(21,#1)	S00100110011010100001011110111100111100T	39	21	3,11	14,3
LABS-Q2DPs38(15,#1)	S00000001111000011010010101001001100110T	38	15	3,01	12,4
LABS-Q2DPs37(16,#1)	S1101010001011110110001001000001100001T	37	16	3,01	12,2
LABS-Q2DPs36(15,#1)	S000111110001100010100010010010010010T	36	15	2,96	15,4
LABS-Q2DPs35(14,#1)	S00000001001101100101011010100011100T	35	14	2,90	15,1
LABS-Q2DPs34(15,#1)	S00000000111001011010101010011001100T	34	15	2,90	9,8
LABS-Q2DPs33(15,#1)	S00000001111001011010101010011001100T	33	15	2,86	10,2
LABS-Q2DPs32(20,#1)	S11111110101010100001110011011001100T	32	20	2,74	11,1
LABS-Q2DPs31(19,#1)	S1111111000111001101101100101011010T	31	19	2,71	10,8
LABS-Q2DPs30(12,#1)	S1111000000100100101010000110001T	30	12	2,68	11,3
LABS-Q2DPs29(16,#1)	S00100101101110110111011100001110T	29	16	2,68	10,9
LABS-Q2DPs28(16,#1)	S01110000111011101110111011010010T	28	16	2,62	11,4
LABS-Q2DPs27(16,#1)	S010010110110111011101110000111T	27	16	2,55	10,9
LABS-Q2DPs26(15,#1)	S0111000111111010100100100110T	26	15	2,52	6,8
LABS-Q2DPs25(14,#1)	S0110110101011111100011000T	25	14	2,48	5,0
LABS-Q2DPs24(14,#1)	S00110001111101010110110110T	24	14	2,42	5,1
LABS-Q2DPs23(9,#1)	S00010000100101110100011T	23	9	2,34	9,6
LABS-Q2DPs22(8,#1)	S0000010011010100111000T	22	8	2,26	9,0
LABS-Q2DPs21(13,#1)	S0011111100110101010110T	21	13	2,23	9,7
LABS-Q2DPs20(12,#1)	S1010111001111100100T	20	12	2,19	7,8
LABS-Q2DPs19(6,#1)	S0100100010001110000T	19	6	2,03	6,5
LABS-Q2DPs18(9,#1)	S100110111100001010T	18	9	2,12	5,9
LABS-Q2DPs17(7,#1)	S00001100100101011T	17	7	2,03	8,2
LABS-Q2DPs16(6,#1)	S0010110100010001T	16	6	1,94	8,3
LABS-Q2DPs15(9,#1)	S00011101110110110T	15	9	1,90	6,1
LABS-Q2DPs14(9,#1)	S10101101111100T	14	9	1,79	5,4
LABS-Q2DPs13(4,#1)	S0000011001010T	13	4	1,66	4,5

Fig. 19 (2.Teil)

LABS-Q2DPs12(4,#1)	S000001100101T	12	4	1,63	4,2
LABS-Q2DPs11(5,#1)	S01001000111T	11	5	1,65	3,7
LABS-Q2DPs10(4,#1)	S0001010011T	10	4	1,55	4,6
LABS-Q2DPs9(3,#1)	S100101000T	9	3	1,41	3,2
LABS-Q2DPs8(3,#1)	S01101000T	8	3	1,37	3,1
LABS-Q2DPs7(3,#1)	S1011000T	7	3	1,31	1,9
LABS-Q2DPs6(2,#1)	S101000T	6	2	1,15	4,6
LABS-Q2DPs5(1,#1)	S00010T	5	1	0,89	2,1
LABS-Q2DPs4(1,#1)	S0010T	4	1	0,87	1,9

Fig. 19 (3.Teil)

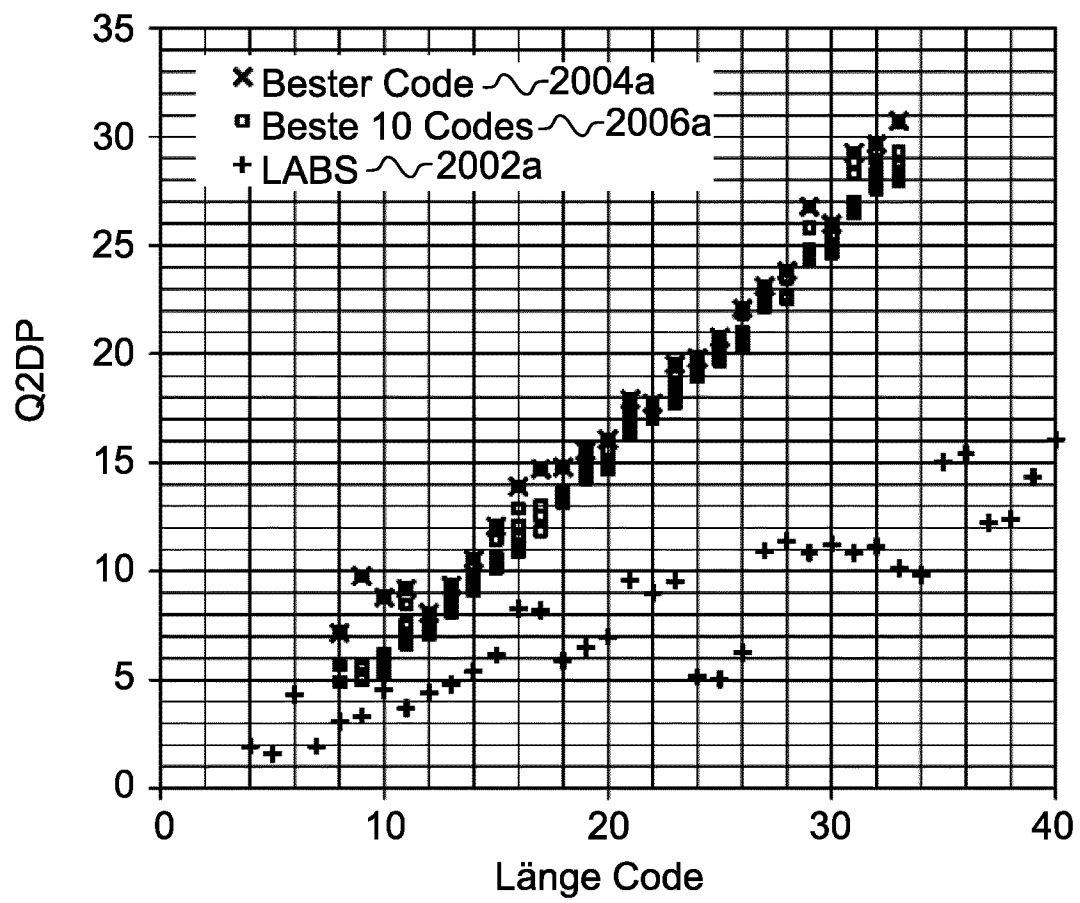


Fig. 20

Code-ID		Code	L		E	SNR	Gain	Q2DP
2102	2104	ULABS-Q2DP33(17,#1)	S10000110110101010101010110111000001T		33	17	2,87	30,7
		ULABS-Q2DP32(13,#1)	S010100010001101011000101011010000T		32	13	2,78	29,7
2106	2108	ULABS-Q2DP31(16,#1)	S0011010010111010101110100101100T		31	16	2,78	29,3
		ULABS-Q2DP30(17,#1)	S010011101110101010101010011100T		30	17	2,71	26,0
2110	2112	ULABS-Q2DP29(15,#1)	S0001110101010101010101010111000T		29	15	2,69	26,8
		ULABS-Q2DP28(14,#1)	S0101101000101010111010011100T		28	14	2,65	23,8
		ULABS-Q2DP27(13,#1)	S010110001010101010111100100T		27	13	2,60	23,1
		ULABS-Q2DP26(10,#1)	S010000110101010101010000010T		26	10	2,48	22,1
		ULABS-Q2DP25(10,#1)	S000111001010001010010100111000T		25	10	2,45	20,8
		ULABS-Q2DP24(11,#1)	S001010111010100101010101000T		24	11	2,44	19,8
		ULABS-Q2DP23(11,#1)	S0001110101010101010101000T		23	11	2,40	19,5
		ULABS-Q2DP22(11,#1)	S0011100101010101010101000T		22	11	2,35	17,7
		ULABS-Q2DP21(14,#1)	S01011101010101010111010T		21	14	2,16	17,9
		ULABS-Q2DP20(6,#1)	S1000101000001010001T		20	6	2,05	16,1
		ULABS-Q2DP19(8,#1)	S10000110101010100001T		19	8	2,15	15,5
		ULABS-Q2DP18(8,#1)	S001110101010010100T		18	8	2,11	14,8
		ULABS-Q2DP17(10,#1)	S00111010101011100T		17	10	2,03	14,7
		ULABS-Q2DP16(10,#1)	S0101110101010101010T		16	10	1,94	13,9
		ULABS-Q2DP15(9,#1)	S0110101110101010T		15	9	1,90	12,1
		ULABS-Q2DP14(4,#1)	S00010100101000T		14	4	1,69	10,6
		ULABS-Q2DP13(7,#1)	S1001011101001T		13	7	1,80	9,3
		ULABS-Q2DP12(2,#1)	S00001010000T		12	2	1,29	8,1
		ULABS-Q2DP11(7,#1)	S0110111010T		11	7	1,60	9,2
		ULABS-Q2DP10(2,#1)	S000101000T		10	2	1,26	8,8
		ULABS-Q2DP9(2,#1)	S000101000T		9	2	1,25	9,8
		ULABS-Q2DP8(2,#1)	S00101000T		8	2	1,22	7,2

Fig. 21 (1.Teil)

LABS-Q2DP40(18,#1)	S00100010001000111011100001110100101101001011010T	40	18	3,15	16,1
LABS-Q2DP39(21,#1)	S00100110011010100001011110111100111100T	39	21	3,11	14,3
LABS-Q2DP38(15,#1)	S00000000111100001101001010101001100110T	38	15	3,01	12,4
LABS-Q2DP37(16,#1)	S1101010001011110110001001000001100001T	37	16	3,01	12,2
LABS-Q2DP36(15,#1)	S00011111000110001010001001001010010T	36	15	2,96	15,4
LABS-Q2DP35(14,#1)	S00000001001101100101011010100011100T	35	14	2,90	15,1
LABS-Q2DP34(15,#1)	S0000000011100101101010101010011001T	34	15	2,90	9,8
LABS-Q2DP33(15,#1)	S0000000111100101101010101010011001T	33	15	2,86	10,2
LABS-Q2DP32(20,#1)	S1111110101101010001110011011011001T	32	20	2,74	11,1
LABS-Q2DP31(19,#1)	S1111111000111001101101100101011010T	31	19	2,71	10,8
LABS-Q2DP30(12,#1)	S1111000001001001010101000110001T	30	12	2,68	11,3
LABS-Q2DP29(16,#1)	S0010010101101110111011100001110T	29	16	2,68	10,9
LABS-Q2DP28(16,#1)	S0111000011101110111011011010010T	28	16	2,62	11,4
LABS-Q2DP27(16,#1)	S010010110110111011101110000111T	27	16	2,55	10,9
LABS-Q2DP26(13,#1)	S00000011100111010101010110110T	26	13	2,55	6,2
LABS-Q2DP25(14,#1)	S011011010101111100011000T	25	14	2,48	5,0
LABS-Q2DP24(14,#1)	S0011000111110101010110110T	24	14	2,42	5,1
LABS-Q2DP23(9,#1)	S00010000100101110100011T	23	9	2,34	9,6
LABS-Q2DP22(8,#1)	S0000010011010100111000T	22	8	2,26	9,0
LABS-Q2DP21(8,#1)	S110000000110010101001T	21	8	2,23	9,6
LABS-Q2DP20(12,#1)	S1010111001111100100T	20	12	2,19	7,0
LABS-Q2DP19(6,#1)	S010010001000111000T	19	6	2,03	6,5
LABS-Q2DP18(6,#1)	S000001011010001100T	18	6	2,00	5,9
LABS-Q2DP17(7,#1)	S000011001001010101T	17	7	2,03	8,2
LABS-Q2DP16(6,#1)	S0010110100010001T	16	6	1,94	8,3
LABS-Q2DP15(9,#1)	S000111011101101T	15	9	1,90	6,1
LABS-Q2DP14(4,#1)	S00000110010100T	14	4	1,69	5,4
LABS-Q2DP13(4,#1)	S0000011001010T	13	4	1,66	4,8

Fig. 21 (2.Teil)

LABS-Q2DP12(4,#1)	S000001100101T	12	4	1,63	4,4
LABS-Q2DP11(5,#1)	S01001000111T	11	5	1,65	3,7
LABS-Q2DP10(4,#1)	S0001010011T	10	4	1,55	4,6
LABS-Q2DP9(3,#1)	S000011010T	9	3	1,41	3,3
LABS-Q2DP8(3,#1)	S01101000T	8	3	1,37	3,1
LABS-Q2DP7(3,#1)	S1011000T	7	3	1,31	1,9
LABS-Q2DP6(2,#1)	S101000T	6	2	1,15	4,3
LABS-Q2DP5(1,#1)	S00010T	5	1	0,89	1,6
LABS-Q2DP4(1,#1)	S0010T	4	1	0,87	1,9

Fig. 21 (3.Teil)

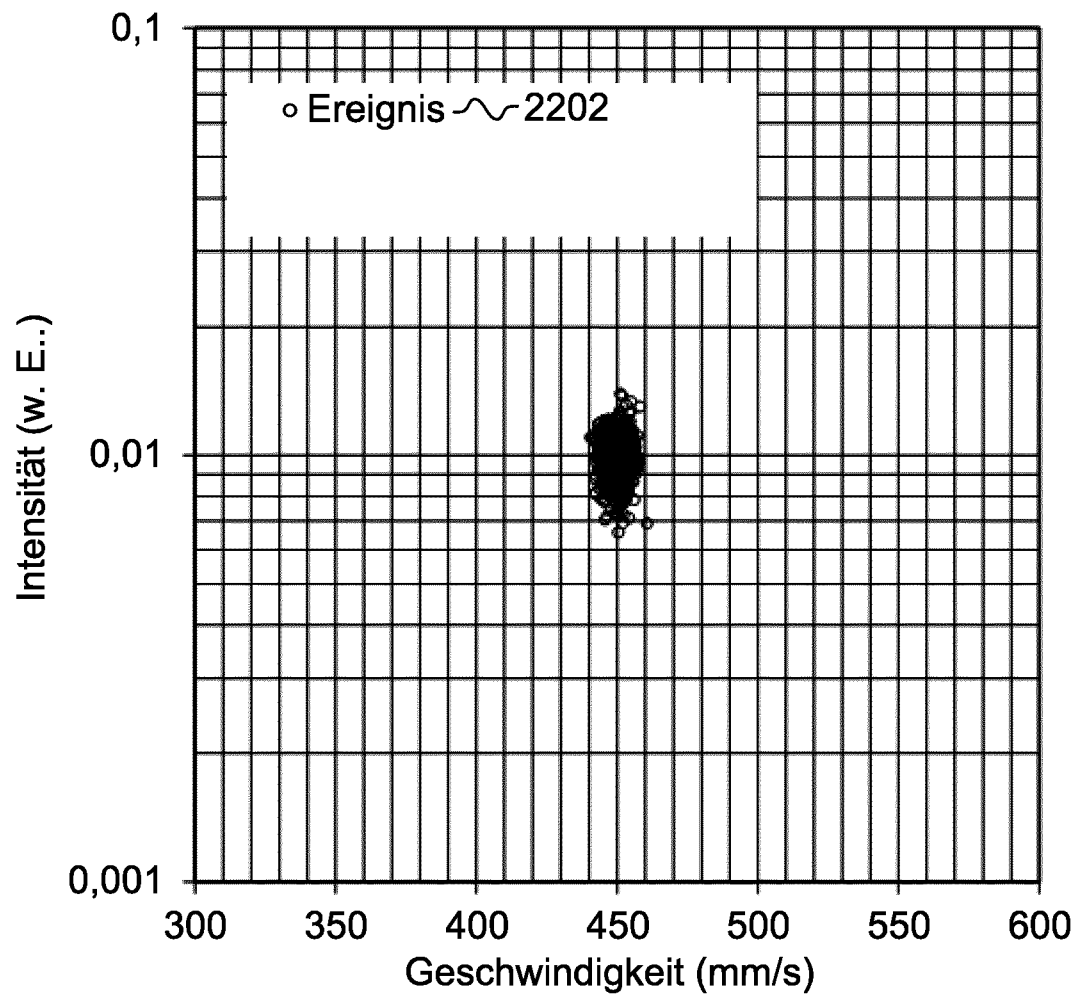


Fig. 22

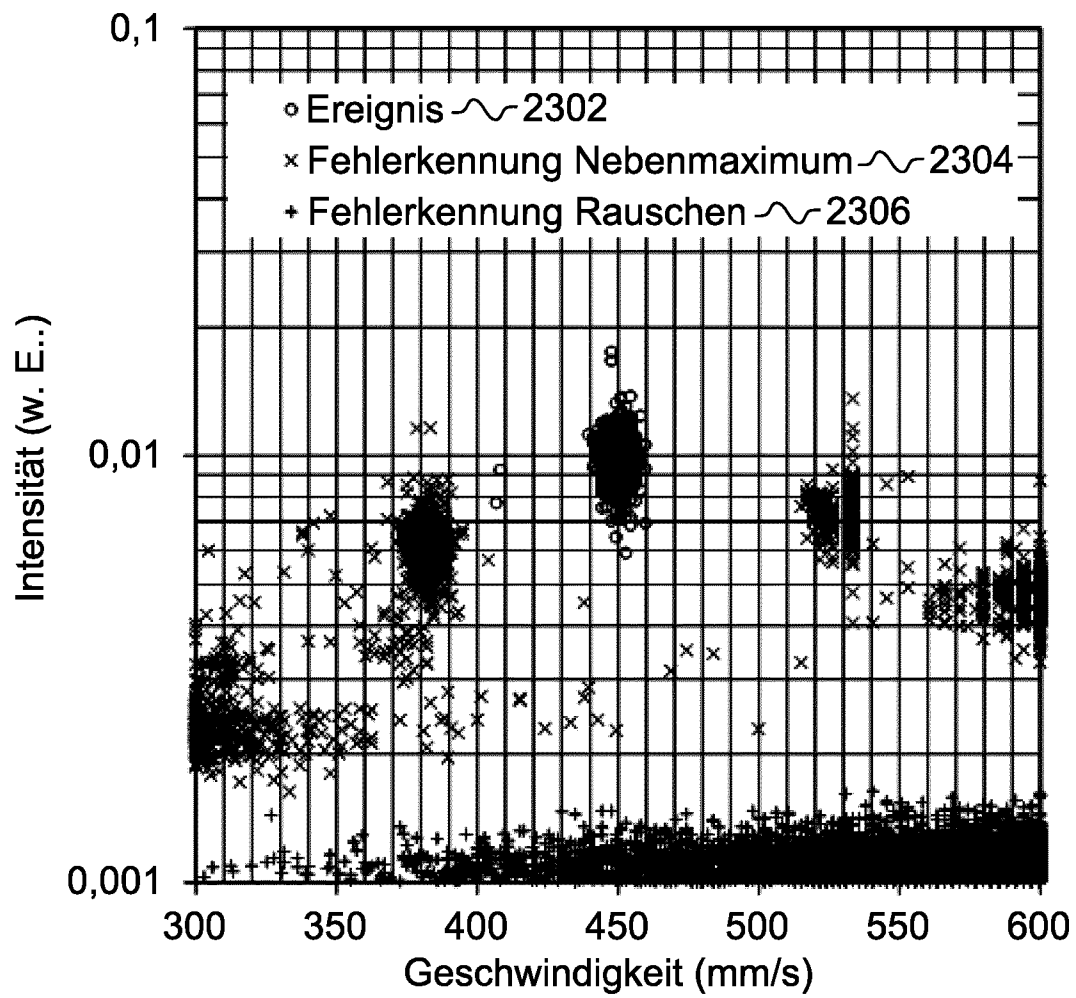


Fig. 23

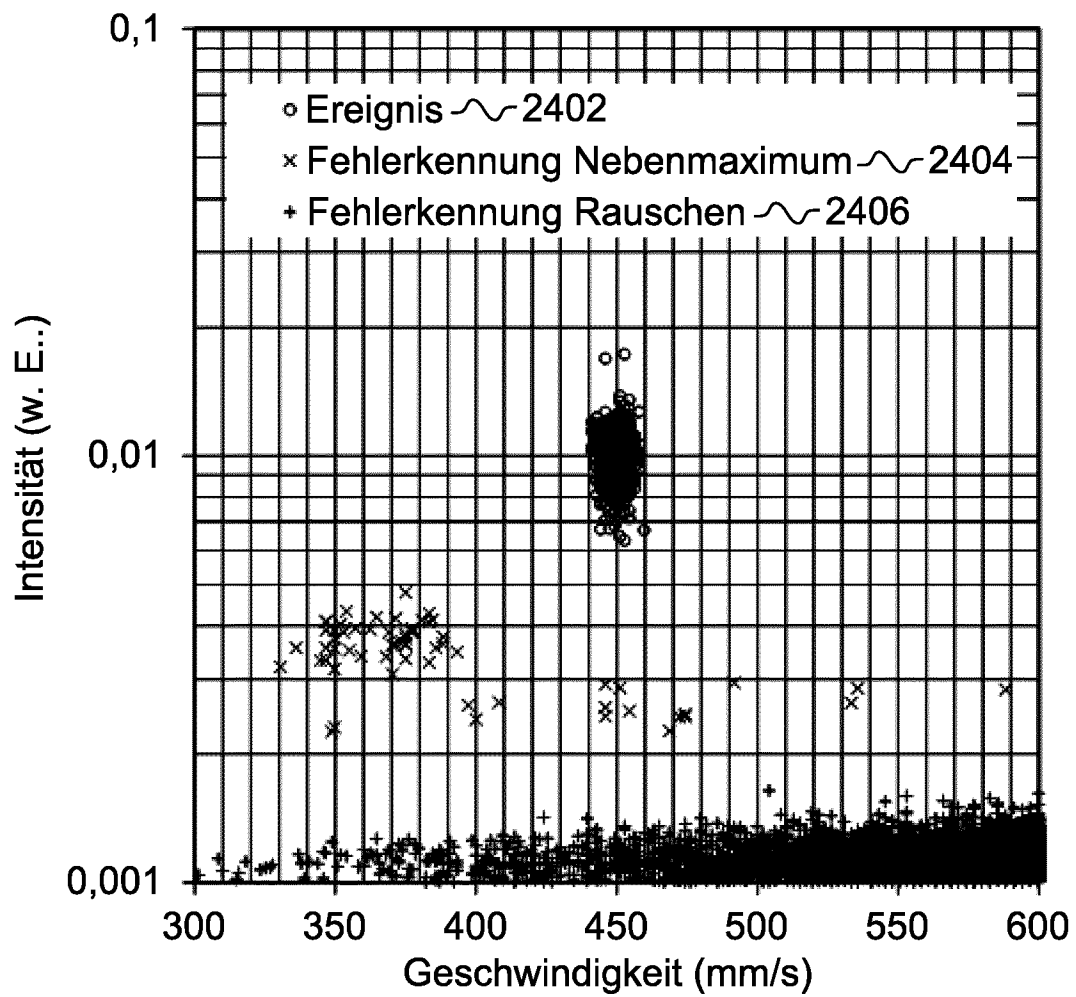


Fig. 24

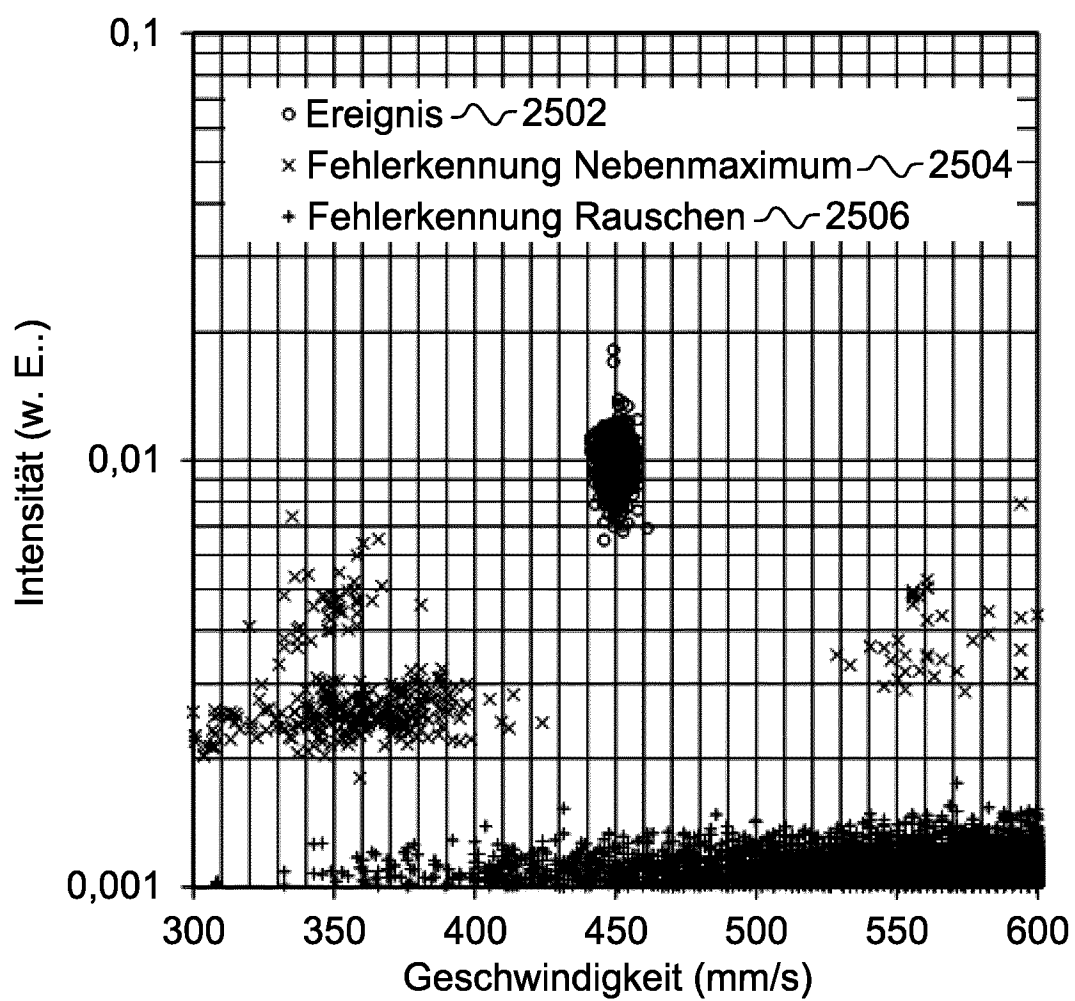


Fig. 25

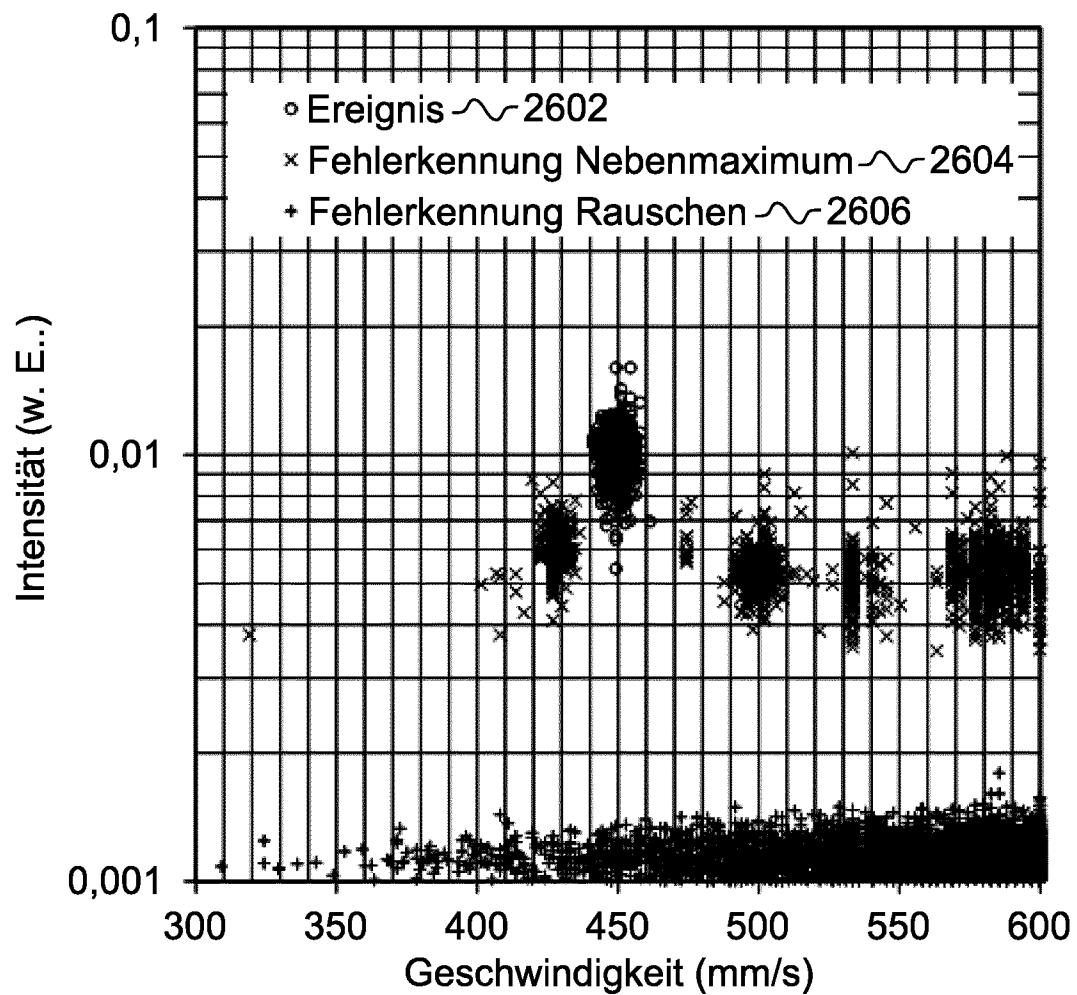


Fig. 26

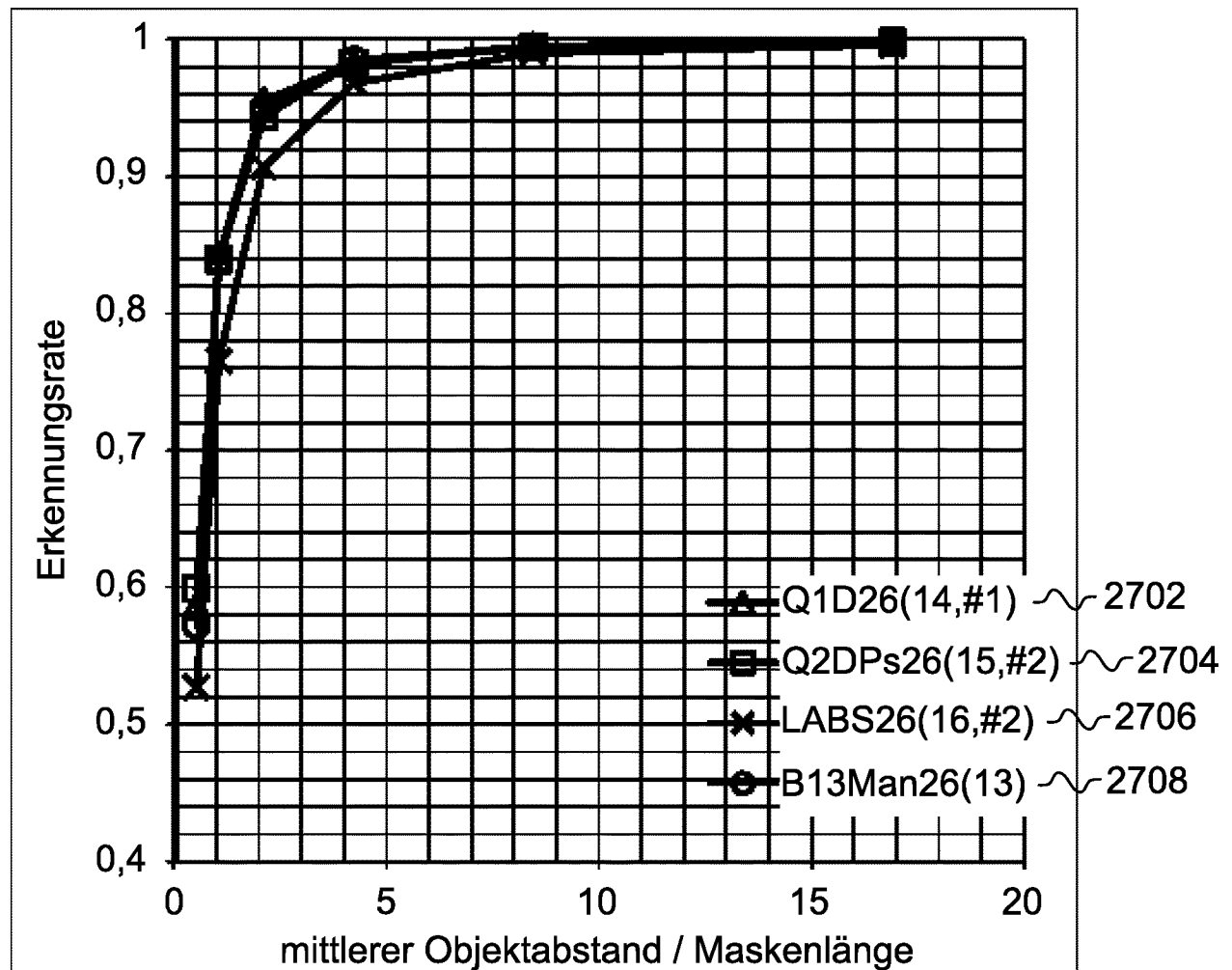


Fig. 27

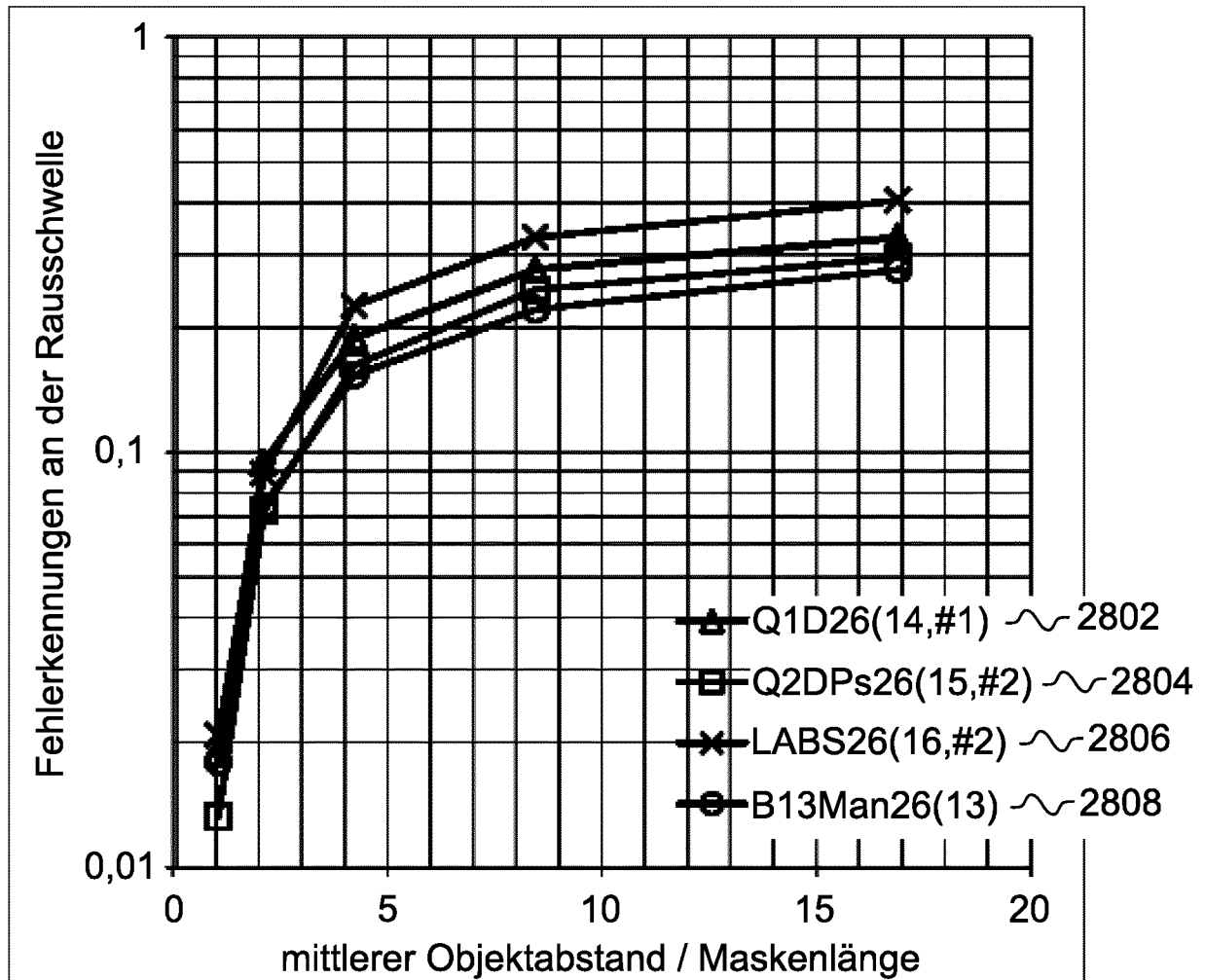


Fig. 28

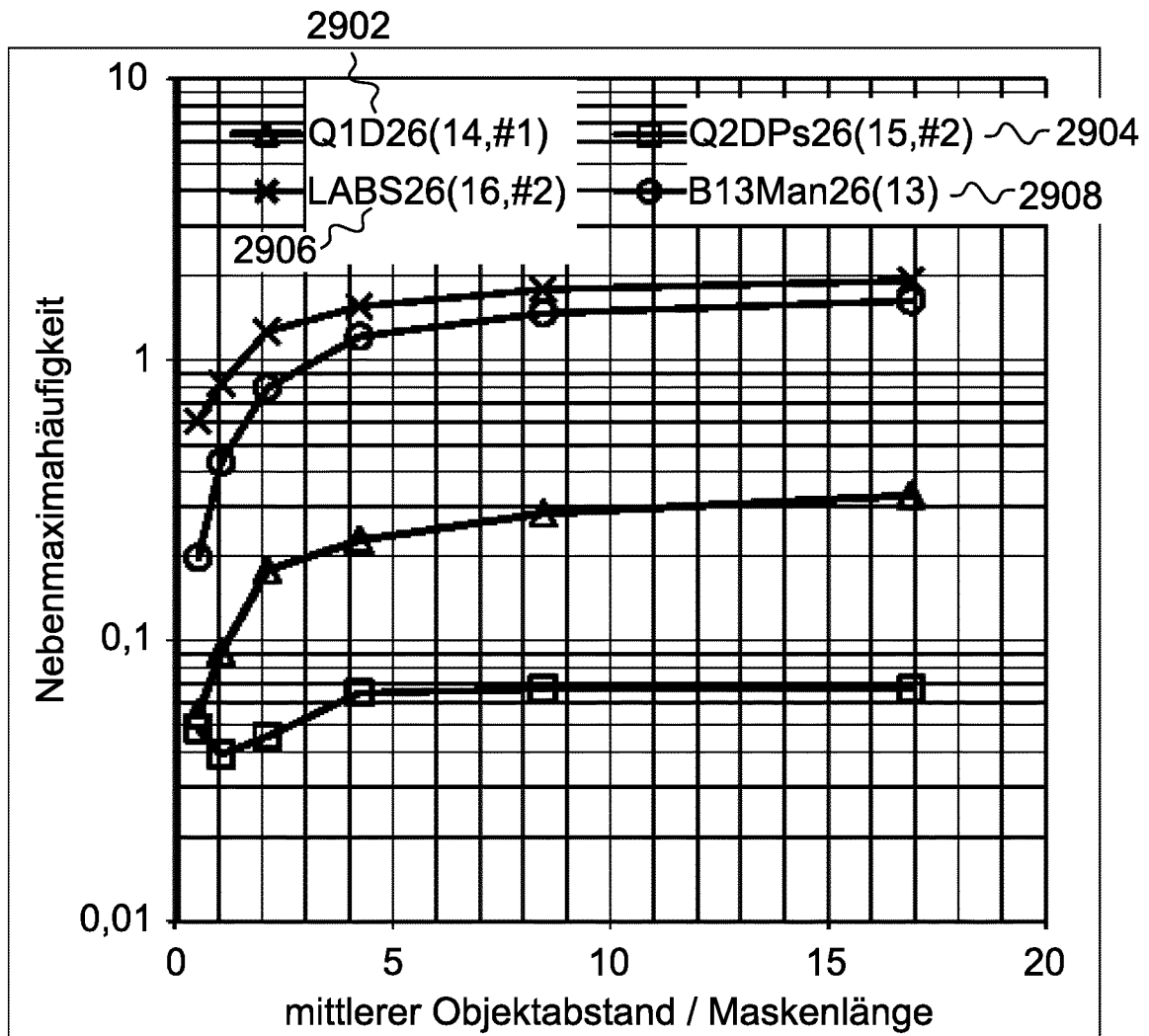


Fig. 29

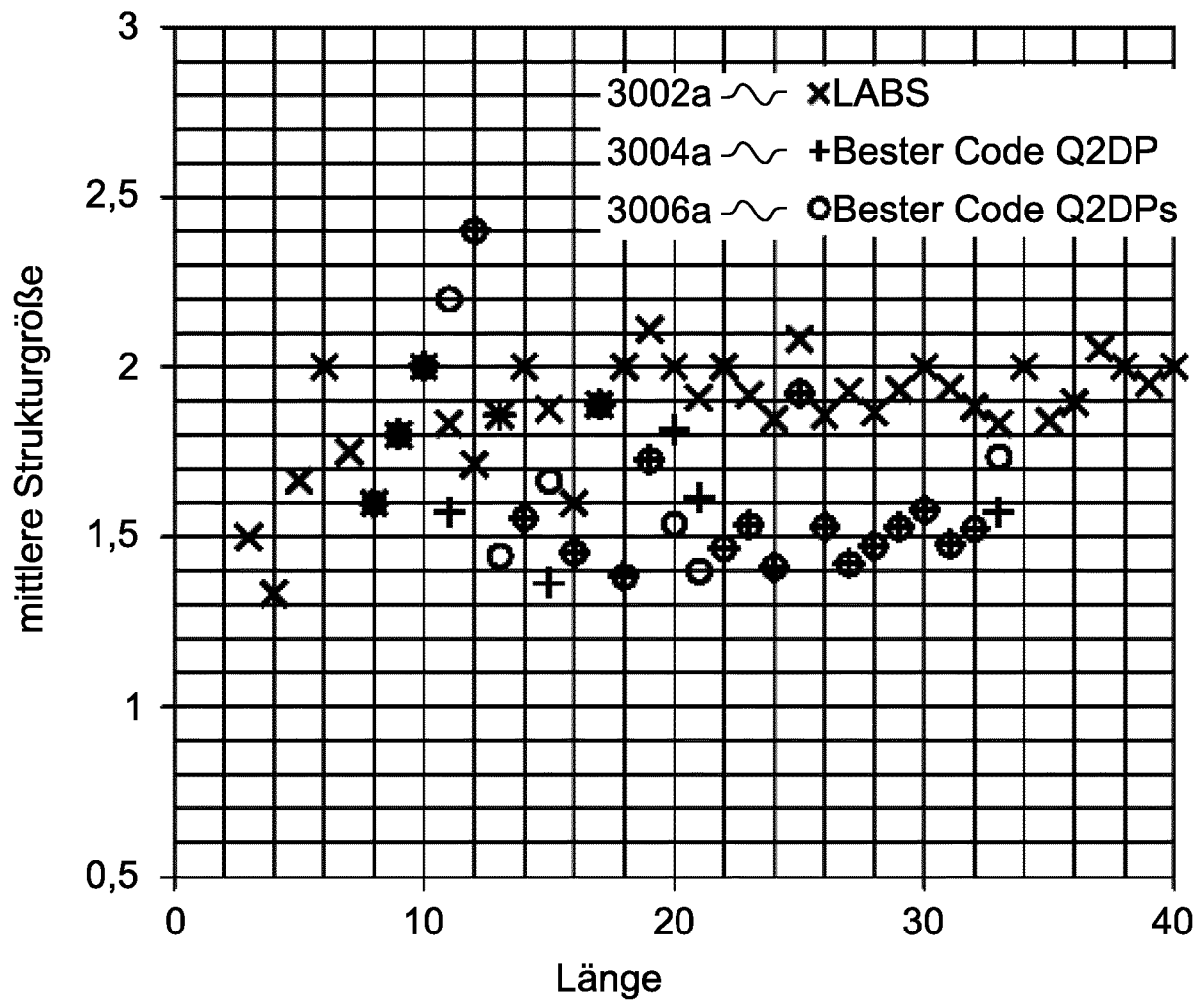


Fig. 30

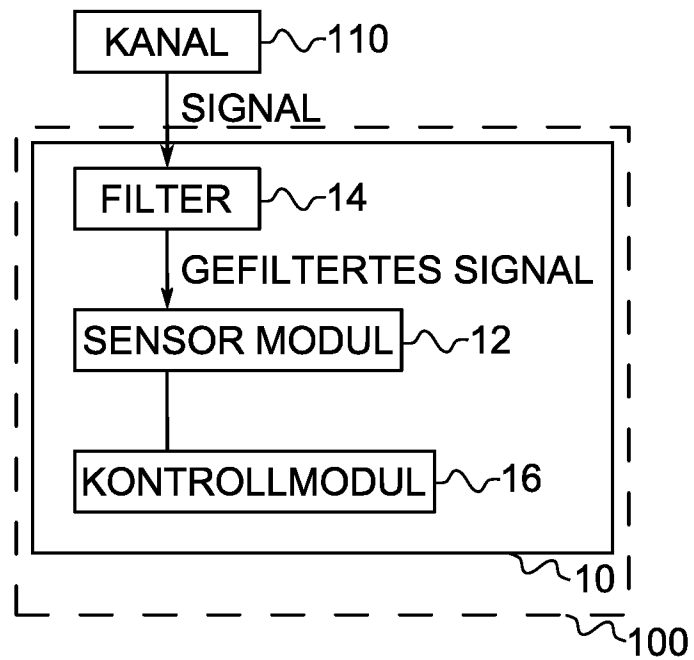


Fig. 31

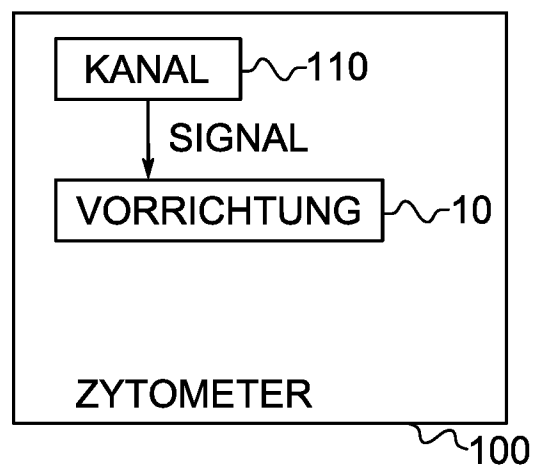


Fig. 32

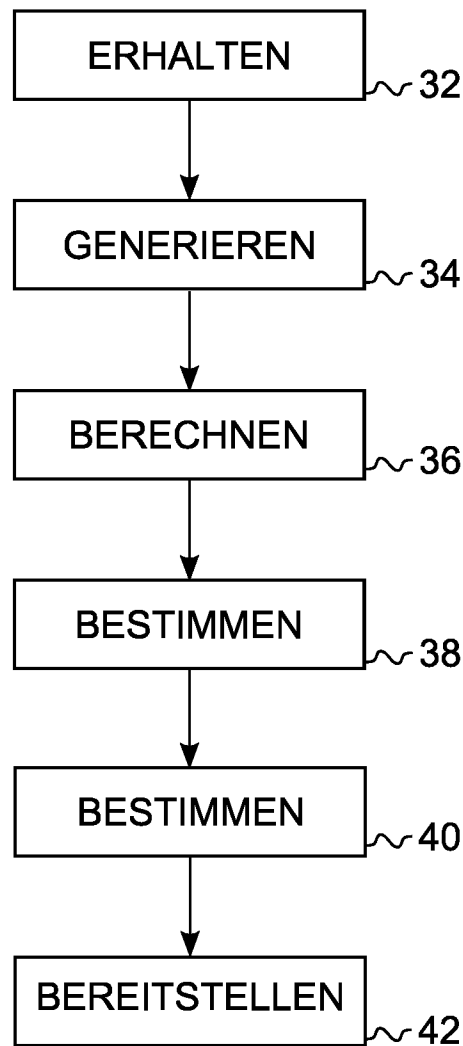


Fig. 33

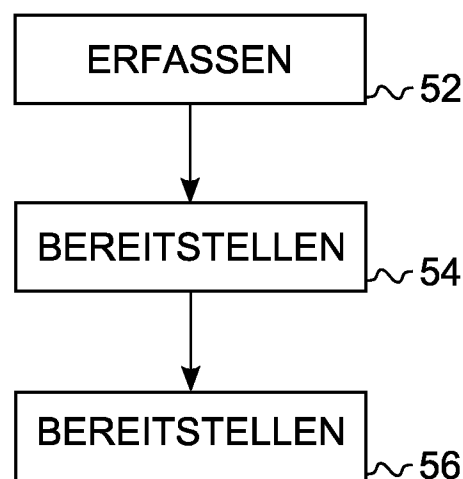


Fig. 34

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/064492

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01N15/14 G01N21/64
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01N B01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	J. LINDNER: "Binary sequences up to length 40 with best possible autocorrelation function", ELECTRONICS LETTERS, vol. 11, no. 21, 16 October 1975 (1975-10-16), page 507, XP055300696, GB ISSN: 0013-5194, DOI: 10.1049/el:19750391 table 1 page 507, left-hand column, paragraph 1 - paragraph 3 ----- -/-	1-11,18



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 September 2016

Date of mailing of the international search report

26/09/2016

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Lefortier, Stéphanie

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2016/064492

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CHRISTIAN SOMMER ET AL: "The equilibrium velocity of spherical particles in rectangular microfluidic channels for size measurement", LAB ON A CHIP, vol. 14, no. 13, 14 May 2014 (2014-05-14), page 2319, XP055138215, ISSN: 1473-0197, DOI: 10.1039/c3lc51336j figures 3-4 "Interpretation of the data"; page 2322, right-hand column - page 2323, left-hand column "Spatial mask"; page 2322, left-hand column - right-hand column	12-17, 19,20
A	----- COHEN M N ET AL: "Minimum peak sidelobe pulse compression codes", 19900507; 19900507 - 19900510, 7 May 1990 (1990-05-07), pages 633-638, XP010007423, page 633, left-hand column, paragraph 6 - right-hand column, paragraph 3 page 634, right-hand column, paragraph 4 - paragraph 6	1-20
A	----- HADINEJAD-MAHRAM H ET AL: "Binary and quadriphase sequences with optimal autocorrelation properties: a survey", IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY, IEEE PRESS, USA, vol. 49, no. 12, 31 December 2003 (2003-12-31), pages 3271-3282, XP011104662, ISSN: 0018-9448, DOI: 10.1109/TIT.2003.820035 page 3272	1-20
A	----- EP 2 211 164 A1 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]) 28 July 2010 (2010-07-28) paragraph [0067] - paragraph [0068]	1-20
A	----- Christian Sommer: "DIE GRÖßENABHÄNGIGKEIT DER GLEICHGEWICHTSGESCHWINDIGKEIT VON PARTIKEN BEIM TRANSPORT IN MIKROKANÄLEN", DISSERTATION DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT DARMSTADT, 7 November 2014 (2014-11-07), XP002761529, Retrieved from the Internet: URL: http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/4059/1/Promotion_Christian_Sommer_elektronisch.pdf [retrieved on 2016-09-07] page 25 page 40 - page 47	1-20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/064492

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
EP 2211164	A1	28-07-2010	CN 102301221 A	28-12-2011
			EP 2211164 A1	28-07-2010
			EP 2391879 A1	07-12-2011
			JP 5475010 B2	16-04-2014
			JP 2012515918 A	12-07-2012
			US 2011279130 A1	17-11-2011
			WO 2010086797 A1	05-08-2010

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G01N15/14 G01N21/64
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G01N B01L

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	J. LINDNER: "Binary sequences up to length 40 with best possible autocorrelation function", ELECTRONICS LETTERS, Bd. 11, Nr. 21, 16. Oktober 1975 (1975-10-16), Seite 507, XP055300696, GB ISSN: 0013-5194, DOI: 10.1049/el:19750391 Tabelle 1 Seite 507, linke Spalte, Absatz 1 - Absatz 3 ----- -/-	1-11,18



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

16. September 2016

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

26/09/2016

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Lefortier, Stéphanie

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	CHRISTIAN SOMMER ET AL: "The equilibrium velocity of spherical particles in rectangular microfluidic channels for size measurement", LAB ON A CHIP, Bd. 14, Nr. 13, 14. Mai 2014 (2014-05-14), Seite 2319, XP055138215, ISSN: 1473-0197, DOI: 10.1039/c3lc51336j Abbildungen 3-4 "Interpretation of the data"; Seite 2322, rechte Spalte - Seite 2323, linke Spalte "Spatial mask"; Seite 2322, linke Spalte - rechte Spalte -----	12-17, 19,20
A	COHEN M N ET AL: "Minimum peak sidelobe pulse compression codes", 19900507; 19900507 - 19900510, 7. Mai 1990 (1990-05-07), Seiten 633-638, XP010007423, Seite 633, linke Spalte, Absatz 6 - rechte Spalte, Absatz 3 Seite 634, rechte Spalte, Absatz 4 - Absatz 6 -----	1-20
A	HADINEJAD-MAHRAM H ET AL: "Binary and quadriphase sequences with optimal autocorrelation properties: a survey", IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY, IEEE PRESS, USA, Bd. 49, Nr. 12, 31. Dezember 2003 (2003-12-31), Seiten 3271-3282, XP011104662, ISSN: 0018-9448, DOI: 10.1109/TIT.2003.820035 Seite 3272 -----	1-20
A	EP 2 211 164 A1 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]) 28. Juli 2010 (2010-07-28) Absatz [0067] - Absatz [0068] -----	1-20
A	Christian Sommer: "DIE GRÖßENABHÄNGIGKEIT DER GLEICHGEWICHTSGESCHWINDIGKEIT VON PARTIKEN BEIM TRANSPORT IN MIKROKANÄLEN", DISSERTATION DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT DARMSTADT, 7. November 2014 (2014-11-07), XP002761529, Gefunden im Internet: URL: http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/4059/1/Promotion_Christian_Sommer_elektronisch.pdf [gefunden am 2016-09-07] Seite 25 Seite 40 - Seite 47 -----	1-20

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/064492

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 2211164	A1	28-07-2010	CN	102301221 A	28-12-2011
			EP	2211164 A1	28-07-2010
			EP	2391879 A1	07-12-2011
			JP	5475010 B2	16-04-2014
			JP	2012515918 A	12-07-2012
			US	2011279130 A1	17-11-2011
			WO	2010086797 A1	05-08-2010
