



Bessere Inflationprognosen mit Random Forests

15. August 2024

Dr. Vincent Stamer

Inhalt

Warum ein neues Modell?	1
Modelle prognostizieren die Komponenten der Inflation	1
Vorbereitung der Daten	2
Selektion und Random Forest	4
Prognose	4
Evaluation und Kombination der Ergebnisse	6
Ergebnisse und Diskussion	8
Modell dient zukünftig als Grundlage der Prognose	9

Neue Methoden des maschinellen Lernens verbessern die Inflationprognose. Sogenannte Random-Forest-Modelle erlauben die Verarbeitung großer Datenmengen und decken verborgene Zusammenhänge auf. Wir stellen die Verfahren vor und testen die Prognosegüte. Alles in allem dürfte die Inflation im kommenden Jahr über dem EZB-Ziel von 2% liegen.

Warum ein neues Modell?

In den vergangenen Jahren haben Techniken des maschinellen Lernens viele Bereiche erobert – auch die Ökonometrie und Statistik. Neue Methode versprechen die schnelle Verarbeitung großer Datenmengen und die Aufdeckung von Zusammenhängen, die nicht offensichtlich sind. Lange galten jedoch Algorithmen der Künstlichen Intelligenz als "Black Box", in deren Berechnung man weder hineinschauen noch eingreifen konnte. Neue Techniken erlauben nun nicht nur einen Einblick in die Mechanik der Algorithmen. Die Berechnungsmethoden können zudem so flexibel eingesetzt werden, dass sie die Transparenz in der Prognose sogar erhöhen.

Aus diesen Gründen führen wir ein rein datengetriebenes Modell ein, das zwei Techniken des maschinellen Lernens verwendet: Den Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (LASSO) in Kombination mit Random Forest (RF) Modellen. Die wissenschaftliche Forschung (wie in dieser **Studie**) hat gezeigt, dass eine Kombination dieser und ähnlicher Techniken Prognosen merklich verbessert.

Unser neues Modell verarbeitet etwa 75 unabhängige Zeitreihen – und deren zahlreiche Zeitlags – und schätzt die Hauptkomponenten der Inflation mit einem Prognosehorizont von bis zu 12 Monaten. Trotz der hohen Prognosegüte dieser Methoden bildet das reine Datenmodell auch in Zukunft nur einen, wenn auch wichtigen Bestandteil unserer Inflationprognosen. Wir ergänzen das Datenmodell um strukturelle Berechnungen und Erfahrungswerte. Je länger der Prognosehorizont, desto mehr Gewicht bekommen diese Faktoren.

Modelle prognostizieren die Komponenten der Inflation

Wir prognostizieren bewusst nicht die Inflation als Ganzes mit allen verfügbaren Daten. Um die Transparenz und Interpretierbarkeit zu erhöhen, liegt das Ziel der Prognose auf den Komponenten der Inflation: Energie, Nahrungs- und Genussmittel, Waren



ohne Energie sowie Dienstleistungen. Zudem verwenden wir nicht alle zur Verfügung stehenden unabhängigen Variablen in einer alles umfassenden Berechnung. Stattdessen gliedern wir die unabhängigen Variablen in sechs Gruppen und schätzen jeweils eine Inflationskomponente mit jeweils einer der Indikatorgruppen. Chart 1 illustriert diesen Prozess, sowie folgende Schritte, die unten erläutert werden. Die Gruppen der Indikatoren lehnen sich an eine **Studie** der niederländischen Zentralbank an und sind wie folgt kategorisiert:

- Preise von Energieträgern und Rohstoffen sowie Börsenstrompreisen (hier als „**Rohstoffe**“ abgekürzt)
- Konjunkturindikatoren und volkswirtschaftliche Kennzahlen („**Konjunktur**“)
- Preisindikatoren und Umfrageergebnisse zur Preisentwicklung („**Preise**“)
- Außenhandelspreise und internationale Transportkosten („**Externer Sektor**“)
- Finanzmarktindikatoren inklusive der Preisentwicklung von Inflationsswaps („**Finanzsektor**“)
- Historische bzw. zeitverzögerte abhängige Zeitreihen („**Zeit-Lags**“)

Chart 1 - Indikatorgruppen prognostizieren Inflationskomponenten

Illustration

Unabhängige Variablen kategorisiert in sechs Gruppen							Lineares Modell	Gewichtung
Abhängige Variable	Rohstoffe	Konjunktur	Preise	Externer Sektor	Finanzsektor	Zeit-Lags		
Energie	LASSO/ RF Prognose	LM Prognose	Headline					
Nahrungs- und Genussmittel	LASSO/ RF Prognose	LM Prognose						
Waren	LASSO/ RF Prognose	LM Prognose	Kernrate					
Dienstleistungen	LASSO/ RF Prognose	LM Prognose						

Die Anzahl der Indikatoren pro Gruppe variiert von acht aus dem Finanzsektor bis zu 17 bei den externen Sektor. Insgesamt besteht das neue Verfahren damit streng genommen nicht aus einem Modell, sondern aus 24 Modellen für vier abhängige Variablen und sechs unabhängigen Variablengruppen. Das erleichtert enorm die Interpretierbarkeit der Ergebnisse.

Vorbereitung der Daten

Bei der Verwendung von großen Datenmengen und kraftvollen Algorithmen aus dem Bereich des maschinellen Lernens drohen in der Regel zwei zusammenhängende Gefahren: Das Overfitting, also die Verbesserung der Schätzung im Trainingsdatensatz



ohne eine tatsächliche Verbesserung der Prognosegüte, und eine Scheinkorrelation zwischen unabhängiger und abhängigen Variablen ohne eine tatsächliche kausale (oder mindestens Granger-) Kausalität. Beginnend mit der Auswahl und Aufbereitung der Daten fließen in viele Arbeitsschritte Vorkehrungen ein, die diesen Gefahren vorbeugen. So berücksichtigen wir ausschließlich unabhängige Variablen, die entweder aufgrund von ökonomischer Plausibilität die Inflation beeinflussen oder mindestens einen klaren zeitlichen Vorlauf aufweisen. Beispielsweise inkludieren wir die Exportpreise Chinas von Elektronikwaren, da Volkswirtschaften des Euroraums einen erheblichen Teil der konsumierten Elektronik aus China importieren und die Exportpreise einen zeitlichen Vorlauf gegenüber der Inflation im Euroraum aufweisen.

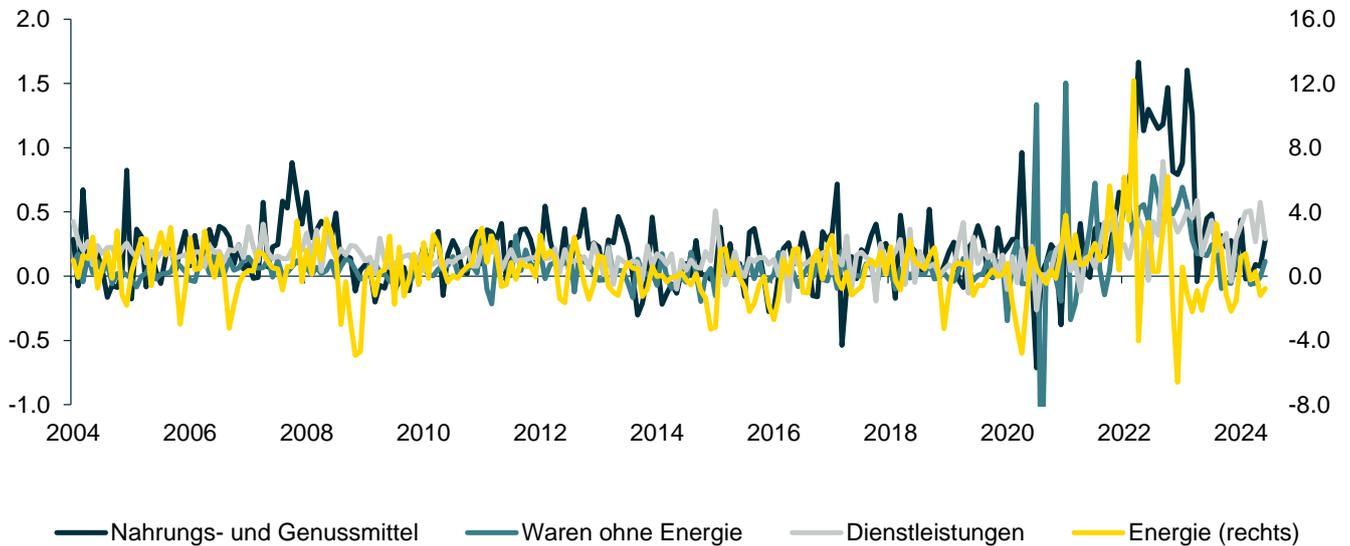
Um den gesamten Vorlauf des zeitlichen Zusammenhangs auszuschöpfen, berücksichtigen die Berechnungen zeitliche Lags mit bis zu zwölf Monaten Vorlauf. Um die Anzahl der unabhängigen Variablen (und die Gefahr von Scheinkorrelation) zu reduzieren, hängt die maximale Verzögerung von dem Paar der abhängigen und unabhängigen Variable ab: So korreliert die Inflation im Euroraum sicherlich kurzfristiger mit deutschen Importpreisen als mit den chinesischen Exportpreisen. Aus diesem Grund fließen auch weniger Lags für Importpreise (sechs Monate) als für Exportpreise (neun Monate) in die Berechnung ein. Darüberhinaus beschränkt die Veröffentlichung von Daten mit Zeitverzug zusätzlich die Anzahl der zur Verfügung stehenden Zeitlags. Denn wenn die europäische Industrieproduktion mit einem Zeitverzug von etwa zwei Monaten veröffentlicht wird, kann sie nicht für einen noch kürzeren Prognosehorizont eingesetzt werden. Eine Variable mit einer Veröffentlichungsverzögerung von zwei Monaten und einem maximalen Zeitraum von neun Monaten würde mit sieben Zeitlags zwei bis neun Monaten Zeitverzug in den unten beschriebenen Algorithmus einfließen.

Neben der Berechnung der Lags erfolgt in diesem Schritt bei Bedarf auch eine Bereinigung der Zeitreihe um saisonale Einflüsse mit dem X-13 Verfahren, eine Extraktion des statistischen Trends mit dem einseitigen Hodrick-Prescott-Filter [1], sowie die Umrechnung in Vormonatsraten. Letzteres gilt vor allem für Zeitreihen, die als absolute Niveaus interpretierbar sind. Für Inflationserwartungen oder Unternehmensrenditen etwa gilt dies nicht. Die Wahl der Vormonatsraten gegenüber Vorjahresraten dient hierbei der stärkeren Stationarisierung der Zeitreihe (Chart 2), der einfacheren Identifikation unterjähriger Trends und der Berechnung von elf zusätzlichen Observationen. Die Trainingsphase beinhaltet in der Regel zwanzig Jahre von 2004 bis 2024 abhängig von der Verfügbarkeit der erklärenden Variablen.



Chart 2 - Abhängige Zeitreihen verhalten sich stationär

Subkomponenten des harmonisierten Verbraucherpreisindex (HCPI) für den Euroraum, Veränderung gegenüber dem Vormonat in %



Quelle: EZB, Commerzbank-Research

Selektion und Random Forest Prognose

Ein wichtiger Schritt vor der eigentlichen Prognose ist eine Selektion der optimalen Lags und Filterstufen mit dem Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (LASSO). Dies ist eines der gängigsten Selektionsverfahren in der Ökonometrie und geht auf eine Studie aus dem Jahr 1996 zurück. Die Formel (1) illustriert das Verfahren. Von den bis zu 36 Zeitreihen, die sich aus zwölf maximalen Lags und drei Filterungsstufen ergeben, wählt der LASSO die bis zu drei geeignetsten Zeitreihen einer unabhängigen Variable aus. Diese Herangehensweise reduziert zwar die Anzahl der Zeitreihen. Eine unabhängige Variable, x_i , wird jedoch stets mit einer Zeitreihe, also einer Filter-Lag Kombination, j , im letzten Prognoseschritt vertreten sein.

$$\hat{\beta}_i = \arg \min_{\beta} \left[\sum_{t=1}^T \left(y_{t+h} - \sum_{j=1}^N \beta_{ij} x_{tij} \right)^2 + \lambda \sum_{j=1}^N |\beta_{ij}| \right] \quad \text{mit } \lambda \geq 0 \quad (1)$$

Dieser folgende Prognoseschritt besteht aus der Random Forest Methode. Aufgrund der enormen Flexibilität dieses Algorithmus des maschinellen Lernens steigt die Popularität des Random Forests auch in der Ökonometrie. Neben der Flexibilität, die beispielsweise keine Normalisierung von Variablen voraussetzt, zeichnet sich der Random Forest auch durch eine starke, nicht-lineare Berechnungsmethode aus. Dies trägt den empirischen Beobachtungen Rechnung, nach denen die Inflation erst über bestimmten Schwellenwerten massiv ansteigt. So könnten Produzenten etwa Schwankungen von Inputpreisen bis zu 2% gegenüber dem Vorjahr mit einer Anpassung der Gewinnmarge kompensieren. Überhalb dieses Schwellenwertes müssen Produzenten jedoch die Kosten weitergeben. Diese und andere Nicht-Linearitäten bildet die Random-



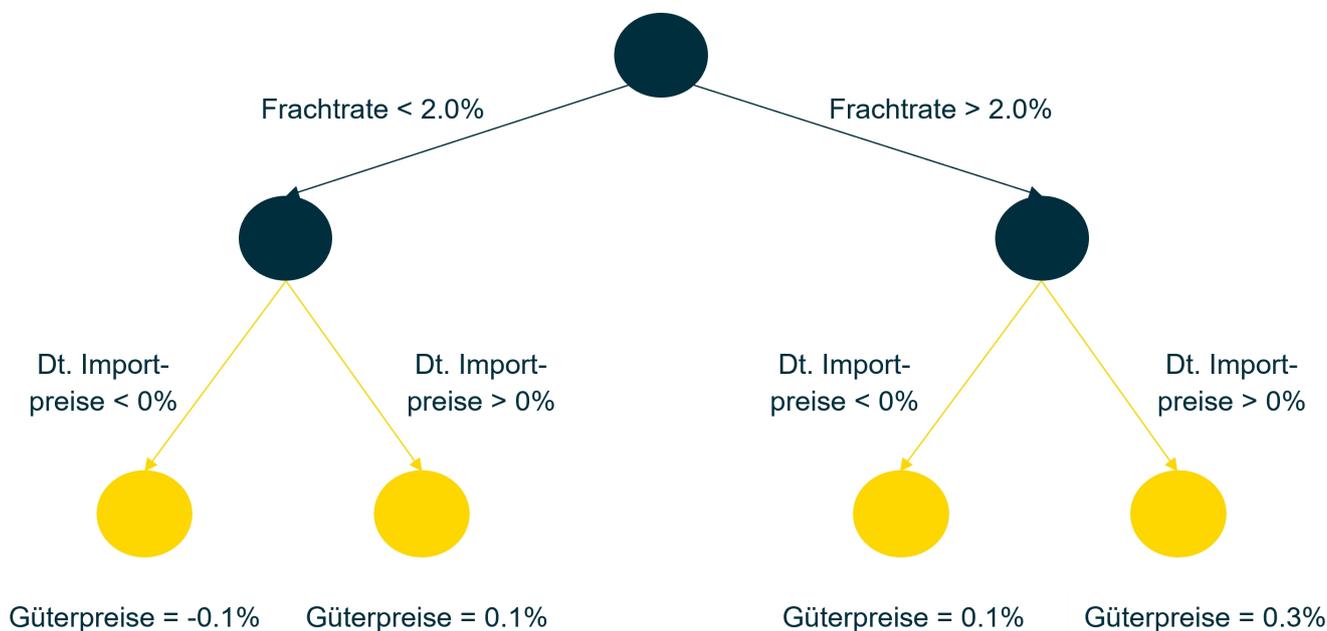
Forest-Methode ab und macht eine Prognose für die abhängige Variable, y_t , mit dem Prognosehorizont, h :

$$\hat{y}_{t+h}^{Rohstoffe} = RandomForest(\mathbf{X}^{Rohstoffe}); \quad \text{mit } \mathbf{X} = \begin{cases} x_{i=1,j} & , \text{wenn } \hat{\beta}_{i=1,j} \neq 0 \\ x_{i=2,j} & , \text{wenn } \hat{\beta}_{i=2,j} \neq 0 \\ \dots & \end{cases} \quad (2)$$

Ein Entscheidungsbaum bildet die Grundlage für die Random-Forest-Berechnung. Der Entscheidungsbaum sucht zunächst einen Schwellenwert (auch Entscheidungskriterium genannt) einer unabhängigen Variable, der die Observations in zwei Gruppen gliedert. Wenn Observations diesen Schwellenwert unterschreiten, fallen sie in die erste Gruppe. Wenn die Observations den Schwellenwert überschreiten, fallen sie in die zweite Gruppe. Ein Schwellenwert einer zweiten unabhängigen Variable gliedert die zwei Observationsgruppen weiter in insgesamt vier Gruppen. Hieraus lässt sich bereits eine Prognose ableiten: Eine zusätzliche Observation lässt sich anhand der zwei Entscheidungskriterien in eine der vier Gruppen einsortieren. Die Prognose für die neue Observation ist dann der Durchschnitt der abhängigen Variable der Observations in dieser spezifischen Gruppe. Dieser Prozess funktioniert für alle abhängigen Variablen und ist hier für die Entwicklung der Güterpreise dargestellt (Chart 3). Als unabhängige Variable sind hier beispielhaft die globalen Containerschifffrachtrate und die deutschen Importpreise dargestellt.

Chart 3 - Ein Entscheidungsbaum für Güterpreise

Illustration



Quelle: Commerzbank-Research

Ein Entscheidungsbaum wählt die verwendeten Variablen und Schwellenwerte so aus, dass das Quadrat von Prognosefehlern der bisher unverwendeten Variablen minimiert wird. Ein Random Forest wiederholt hunderte Entscheidungsbäume (750 in dieser Spezifikation) mit leicht unterschiedlichen Kombinationen von unabhängigen Variablen und bildet bei einer Prognose den durchschnittlichen Prognosewert der vielen Entscheidungsbäume.

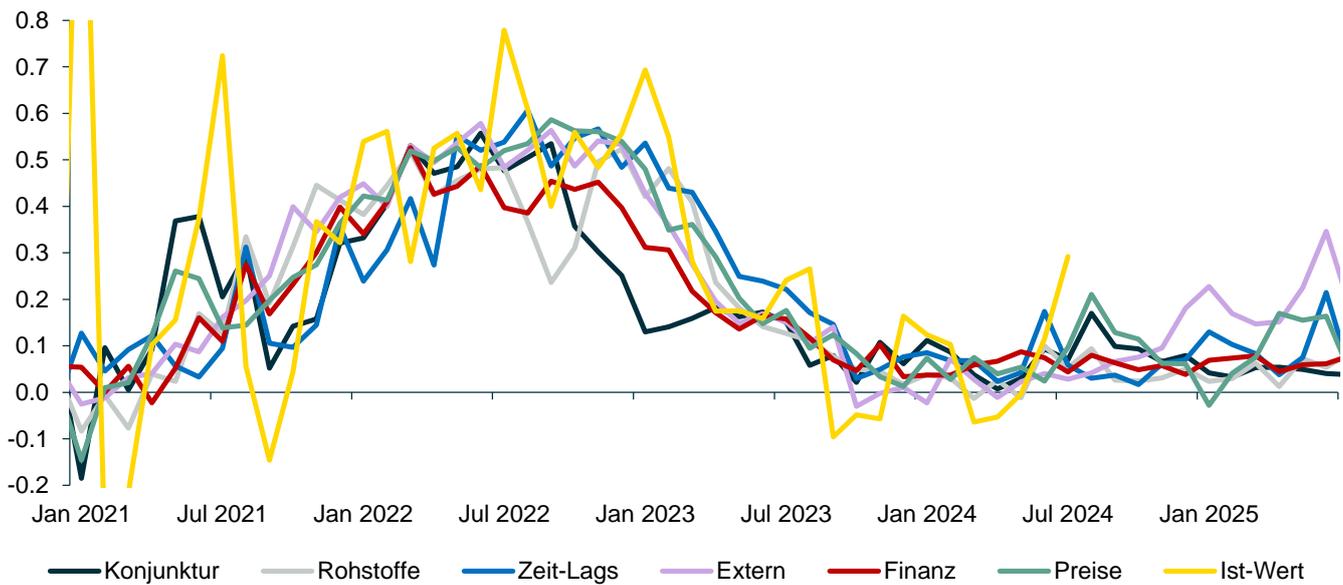


Evaluation und Kombination der Ergebnisse

Um die Qualität der Prognosen der Random Forests zu überprüfen, untersucht der Algorithmus die Monate von Januar 2017 bis Juni 2024 und schätzt die Inflation für jeden einzelnen Monat in von einander unabhängigen Durchläufen, ohne dass sich der geteste Zielmonat in der Trainingsphase dieses Durchlaufs befindet [2]. In jedem Fall erstreckt sich die Trainingsphase auf etwa zwanzig Jahre. Aufgrund der verwendeten out-of-sample-Methode sind die simulierten Prognosen als Prognosen zu interpretieren, die der Random Forest erstellt hätte, wenn im Trainingszeitraum ein Zusammenhang zwischen sehr hohen Energiepreisen (wie im Jahr 2022) unbeobachtet worden wäre. Dieses Testverfahren erfolgt für jede Kombination aus Inflationskomponente und Indikatorgruppe. So prüfen wir für die abhängige Variable der Waren ohne Energie dementsprechend die sechs Prognosen auf Basis der jeweiligen Indikatorgruppen (Chart 4). Während die gelbe Linie den tatsächlich beobachteten Wert der Waren-Vormonatsrate zeigt, stellt die blaue Linie beispielsweise die Prognose auf Grundlage der Zeitlags dar ($\hat{y}_{t+h}^{\text{Zeitlags}}$).

Chart 4 - Prognosemodelle für Warenpreise

Out-of-sample Prognosen für Vormonatsrate der Warenpreise ohne Energie nach Indikatorgruppe, in %; bis Juli 2024 Prognosehorizont h=0, danach aufsteigender Prognosehorizont



Quelle: EZB, Commerzbank-Research

Offensichtlich korrelieren die simulierten Prognosen sehr stark miteinander und geben insgesamt einen engen Korridor für die Schätzung vor. Dies ist nicht verwunderlich, da die Indikatoren auch zwischen Gruppen hinweg miteinander korrelieren. Der Preis von Öl-Futures (in der Indikatorgruppe der Rohstoffe) dürfte mit zeitlichem Verzug auch die Inputpreise der Einkaufsmanagerindizes im verarbeitenden Gewerbe (in der Indikatorgruppe der Preise) beeinflussen. Die realisierte Vormonatsrate verläuft im Gegensatz hierzu sehr volatil und oszilliert häufig über und unter den Prognosen. Bei einem höheren Prognosehorizont tendieren die Prognosen jedoch auseinander – wie hier für die Sommermonate im Jahr 2025.

Nun stellt sich die Frage, ob und wie diese sechs Prognosen kombiniert werden sollten, um eine einzige Prognose für die Inflation zu erhalten. Aufgrund des genannten



Gleichlaufs der Prognosen tritt in einer potenziellen Kombination das Problem der sogenannten Multikollinearität auf. Ein einfacher Durchschnitt der Prognosen dürfte daher das Ergebnis verzerren. Aus diesem Grund berechnen wir ein lineares Modell mit den out-of-sample Prognosen als unabhängige Variablen für jeden Prognosehorizont. Das lineare Modell spezifizieren wir an dieser Stelle bewusst ohne eine Konstante wie in Formel (3) dargestellt, um keine automatische Rückkehr zum Mittelwert in die Schätzung einzubauen.

$$y_{t+h} = \kappa_1 \hat{y}_{t+h|t}^{\text{Rohstoffe}} + \kappa_2 \hat{y}_{t+h|t}^{\text{Konjunktur}} + \kappa_3 \hat{y}_{t+h|t}^{\text{Preise}} + \kappa_4 \hat{y}_{t+h|t}^{\text{Extern}} + \kappa_5 \hat{y}_{t+h|t}^{\text{Finanz}} + \kappa_6 \hat{y}_{t+h|t}^{\text{Zeitlags}} + \epsilon_{t+h} \quad (3)$$

Aufgrund der Multikollinearität sind zwar die Regressionskoeffizienten nicht als kausal interpretierbar. Die geschätzte Zeitreihe der Inflation jedoch ist belastbar und korrigiert den Gleichlauf der Prognosen. [3]

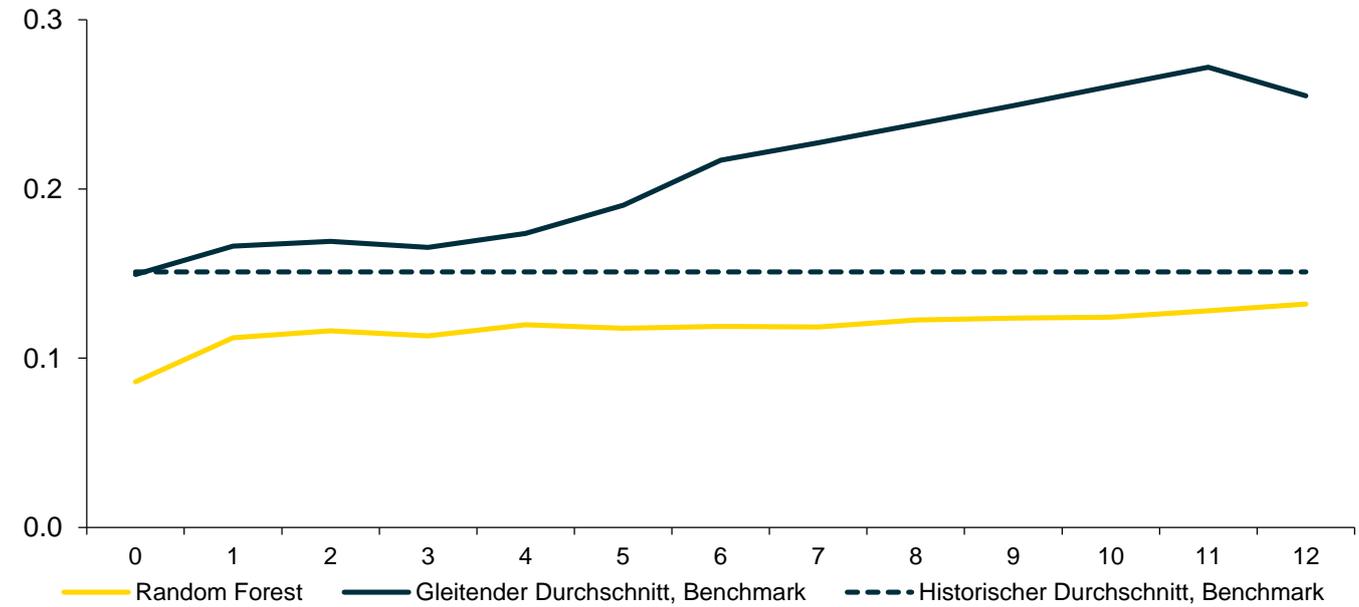
Ein letzter Schritt besteht in der Kombination der Prognosen für die Komponenten der Inflation zur Inflationsrate insgesamt oder zur Kerninflationsrate. Dafür bilden wir einen Mittelwert der Prognosen gewichtet mit der Bedeutung der Komponente laut Eurostat. Aus der prognostizierten Inflationsrate als Ganzes leiten wir in einem letzten Evaluationsschritt den durchschnittlichen, absoluten Schätzfehler gegenüber den historischen Werten ab. Dieser ist für den aktuellen Monat, den Prognosehorizont $h=0$, mit 0.09 Prozentpunkten am geringsten und steigt bis zum Prognosehorizont von einem Jahr an (Chart 5). Zum Vergleich: Die Inflationsrate seit 2017 lag im Durchschnitt bei 0,30 Prozent.

Um zusätzlich die Prognosegüte des neuen Modells einzuschätzen, vergleichen wir die Prognosen mit zwei simplen Benchmarkmodellen. Der erste Benchmark besteht aus dem Durchschnitt der historischen Vormonatsveränderungen, der zweite besteht aus dem gleitenden Durchschnitt der letzten drei Monate. Das neue Prognosemodell schätzt die Vormonatsraten der Inflation mit geringeren Fehlern als die beiden Benchmarkmodelle über den gesamten Prognosehorizont bis zu 12 Monaten. Da das Random-Forest-Modell jedoch bei einem Prognosehorizont von 12 Monaten nur noch geringfügig kleinere Schätzfehler als der historische Durchschnitt aufweist, verwenden wir das neue Modell nur bis zu diesem Zeitpunkt.



Chart 5 - Neues Prognosemodell schlägt Benchmarks

Durchschnittliche, absolute Differenz zwischen Modellprognosen und Benchmark Modellen gegenüber Verbraucherpreisindex; x-Achse zeigt Prognosehorizont in Monaten; in Prozentpunkten von Vormonatsraten



Quelle: Commerzbank-Research

Ergebnisse und Diskussion

Berechnet man aus den reinen Modellergebnissen die Vorjahresrate der Inflation, zeigt sich bis zum Ende des Jahres 2024 eine Wellenbewegung der Inflation (Chart 6). Zunächst sinkt die Vorjahresrate auf etwa 2% im September 2024 und steigt dann bis zum Jahresende wieder auf 2,8% an. Erst im Laufe des kommenden Jahres pendelt sich die Modellprognose bei zwei Prozent ein. Dass dies dem EZB-Ziel genau entspricht, ist hierbei reiner Zufall. An keiner Stelle des Modells fließt das Notenbankziel oder der historische Durchschnitt der Inflation ein.

Trotz der oben genannten Prognosegüte übernehmen wir die Modellergebnisse nicht uneingeschränkt für unsere Euroraum-Inflationsprognose. Hierfür sprechen drei Limitationen des Random Forest-Modells bzw. unserer Methoden:

Erstens könnte das Modell den Einfluss von Variablen unterschätzen, die in der Vergangenheit mehrere Indikatorgruppen beeinflusst haben, jedoch anfänglich nur in einer Indikatorgruppe ausschlagen. Die Frachtraten im Containerschiffnetzwerk sind hierfür wohl das wichtigste Beispiel. Während der Coronapandemie stiegen die Frachtraten bereits deutlich und flossen direkt in die externe Indikatorgruppe ein, haben aber auch die Inputpreise indirekt beeinflusst. Der aktuelle Anstieg der Transportkosten spiegelt sich zwar schon in den verwendeten Frachtratenzeitreihen wider, wohl aber noch nicht in vollem Umfang in Inputpreisen. Daher ergänzen wir das Modell manuell mit einem positiven Frachtrateneffekt.

Zweitens unterschätzt (überschätzt) das Random Forest-Modell den Effekt von Variablenwerten, die über die historisch beobachteten Werte hinausgehen (darunter fallen). Das trifft auf die Lohnkosten zu, die derzeit stärker steigen als in der Vergangenheit beobachtet. Zwar könnte das Random Forest Modell durchaus in den Ästen von Entscheidungsbäumen jene Monatsobservationen sammeln, in denen die höchsten Lohnentwicklungen am stärksten gefallen sind. Der Prognosewert

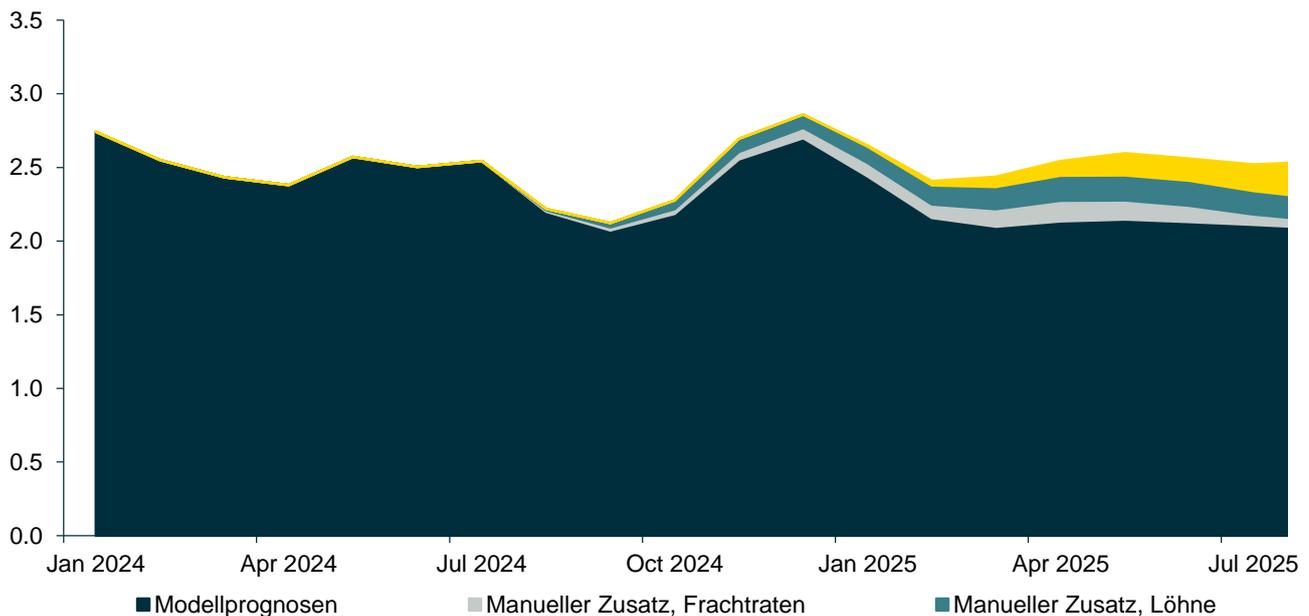


auf Grundlage dieses Astes ist dann der Durchschnitt der Inflation in diesen Monatsobservationen. Genau in diesen Ast wird aber eine neue Observation eingeordnet, auch wenn der Lohnanstieg und der potenzielle Effekt auf die Inflation in diesem Monat höher liegt als in der Vergangenheit. Auch hier ergänzen wir die Modellprognosen mit einem manuellen Zusatz, der die Inflationsprognose erhöht.

Drittens kann das Random Forest Modell – genauso wie alle anderen nicht-strukturellen Modelle – keine zukünftigen Trends berechnen, die bisher keine Rolle gespielt haben. Hierzu gehören zukünftige Effekte, die sich in der Deglobalisierung oder Dekarbonisierung begründen. Während in der Vergangenheit der Beitritt Chinas zu Welthandelsorganisation und die damit aufkommende Globalisierung die Konsumentenpreise gedämpft haben, ist in der Zukunft eine Umkehr dieses Trends als Resultat der geopolitischen Spannungen denkbar. Auch die Dekarbonisierung dürfte in der Zukunft in höherem Tempo die Inflation beeinflussen als in der Vergangenheit. Die Einführung des CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism) ist hier nur ein Beispiel, das in der Vergangenheit keinen Präzedenzfall hat. Aufgrund dieser Ergänzungen steigt die erwartete Inflation für das Ende des Prognosezeitraums (Juli 2025) wieder auf etwa 2,5% an.

Chart 6 - Limitationen können Prognosen nach unten verzerren

Prognosen für die Euroraum Inflation insgesamt, Vorjahresraten in %



Modell dient zukünftig als Grundlage der Prognose

Das neue Prognosemodell kombiniert verschiedene Verfahren des maschinellen Lernens und berechnet belastbare Prognosen, deren Entstehung dennoch transparent nachverfolgt werden kann. Trotz der Fähigkeit, große Datenmengen zu verarbeiten, erlaubt insbesondere die Gruppierung der Variablen eine leichtere Interpretation. Insgesamt schlägt die Prognosegüte, getestet in einem out-of-sample Verfahren, einfache Benchmarks deutlich. Das gilt für die Inflation insgesamt, sowie für die Inflationskomponenten der Dienstleistungen, Waren ohne Energie, sowie für die Nahrungs- und Genussmittel. Lediglich die Modellprognosen für die Energiekomponente sind ab einem Prognosehorizont von mehr als einem Monat schlechter als eine naive Benchmark. Das verdeutlicht jedoch die Notwendigkeit, das Prognosemodell nicht blind einzusetzen. In unseren Analysen werden wir stets die reinen Modellergebnisse



mit strukturellen Modellen und Erfahrungswerten kombinieren. Zudem ergänzen wir die Modellergebnisse, wenn eine Limitation des Modells offensichtlich zutage tritt. Aus diesem Grund ergänzen wir die Modellergebnisse aufgrund der erneut hohen Frachtraten und Löhne, sowie um strukturelle Effekte aufgrund der Deglobalisierung und Dekarbonisierung. Je länger der Prognosehorizont, desto wichtiger wird der Einfluss von strukturellen Überlegungen. Auch deshalb gehen wir nicht davon aus, dass die Inflation im kommenden Jahr auf das EZB-Ziel von 2,0% zurückfallen wird.

[1] Das Standardverfahren des Hodrick-Prescott-Filters ist zweiseitig und berücksichtigt vergangene und zukünftige Datenpunkte für die Trendextraktion. Das würde die simulierte Prognosegüter besser erscheinen lassen als sie tatsächlich ist. Daher verwenden wir die einseitige Version, die mit einem Kalman-Fiter einen lokalen linearen Trend aus vergangenen Datenpunkten konstruiert und damit explizit keine zukünftigen Datenpunkte berücksichtigt. ([zurück](#))

[2] Unser Testverfahren entspricht dem „leave-one-out out-of-sample“ (LOO) Verfahren. Dieses ist weniger restriktiv als eine „expanding window“ oder „rolling window“ Version und könnte den Effekt von strukturellen Brüchen unterschätzen. Die LOO-Methode hat aber den Vorteil, das stets die Hoch-Inflationsphase der vergangenen Jahre verwendet werden kann, um die relevanten Variablen und Schwellenwerte zu identifizieren. Damit ist der Schätzfehler der Testphase auch eine bessere Indikation für den Schätzfehler der kommenden Monate, da nun stets die Hochzinsphase der letzten Jahre für die Schätzung zur Verfügung steht. ([zurück](#))

[3] Das Verfahren der Principle Components Regression (PCR) gilt im Falle einer starken Multikollinearität als besonders zuverlässig in der Reduktion der Verzerrung. In diesem Fall kommt die PCR auf fast identische Ergebnisse wie das leichter interpretierbare und deutlich simplere lineare Modell. ([zurück](#))



Analysten

Dr. Vincent Stamer

Economist

+4969935345800

vincent.stamer@commerzbank.com

Zur Erfüllung der MAR-Anforderungen der ESMA weisen wir darauf hin, dass diese Ausarbeitung am 15/8/2024 17:06 CEST fertiggestellt und am 15/8/2024 17:06 CEST verbreitet wurde.

Für die Erstellung und Veröffentlichung dieser Ausarbeitung sind die Abteilung Group Research (GM-R) im Unternehmensbereich Group Management der Commerzbank AG, Frankfurt am Main, bzw. etwaig in der Ausarbeitung genannte Filialen der Commerzbank außerhalb der USA verantwortlich.

Die Verfasser bestätigen, dass die in diesem Dokument geäußerten Einschätzungen ihre eigene Einschätzung zu den betreffenden Wertpapieren und Emittenten genau wiedergeben und kein Zusammenhang zwischen ihrer Dotierung – weder direkt noch indirekt noch teilweise – und den jeweiligen, in diesem Dokument enthaltenen Empfehlungen oder Einschätzungen bestand, besteht oder bestehen wird.

Ob und in welchem zeitlichen Abstand eine Aktualisierung dieser Ausarbeitung erfolgt, ist vorab nicht festgelegt worden. Wenn nicht anders angegeben, beziehen sich die Kurse der in diesem Dokument erwähnten Wertpapiere auf den Schlusskurs oder Spread des letzten Handelstages, die Schwankungen unterliegen können.

Mögliche Interessenkonflikte

Offenlegung möglicher Interessenkonflikte der Commerzbank AG, ihrer Tochtergesellschaften, verbundenen Unternehmen („Commerzbank“) und Mitarbeitern in Bezug auf die Emittenten oder Finanzinstrumente; die in diesem Dokument analysiert werden, zum Ende des dem Veröffentlichungszeitpunkt diesem Dokument vorangegangenen Monats*:

Für Angaben zu den in Kompendien genannten Unternehmen bzw. den von den Analysten der Commerzbank analysierten Unternehmen folgen Sie bitte diesem Link: <https://commerzbank.bluematrix.com/sellside/Disclosures.action>*

*Die Aktualisierung dieser Informationen kann bis zu 10 Tage nach Monatsende erfordern.

Disclaimer

Dieses Dokument dient ausschließlich zu Informationszwecken und ist für Empfänger bestimmt, die wie professionelle Kunden gemäß der MiFID II ausreichende Erfahrungen, Kenntnisse und Sachverstand haben, um kapitalmarktbezogene Information zu verstehen. Es berücksichtigt nicht die besonderen Umstände des Empfängers und es stellt keine Anlageberatung dar. Die Inhalte dieses Dokuments sind nicht als Angebot oder Aufforderung zum Kauf oder Verkauf von Wertpapieren oder irgendeiner anderen Handlung beabsichtigt und dienen nicht als Grundlage oder Teil eines Vertrages. Anleger sollten sich unabhängig und professionell beraten lassen und ihre eigenen Schlüsse im Hinblick auf die Eignung der Transaktion einschließlich ihrer wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit und Risiken sowie ihrer Auswirkungen auf rechtliche und regulatorische Aspekte sowie Bonität, Rechnungslegung und steuerliche Aspekte ziehen.

Die in diesem Dokument enthaltenen Informationen sind öffentliche Daten und stammen aus Quellen, die von der Commerzbank als zuverlässig und korrekt erachtet werden. Die Commerzbank übernimmt keine Garantie oder Gewährleistung im Hinblick auf Richtigkeit, Genauigkeit, Vollständigkeit oder Eignung für einen bestimmten Zweck. Die Commerzbank hat keine unabhängige Überprüfung oder Due Diligence öffentlich verfügbarer Informationen im Hinblick auf einen unverbundenen Referenzwert oder -index durchgeführt. Alle Meinungsäußerungen oder Einschätzungen geben die aktuelle Einschätzung des Verfassers bzw. der Verfasser zum Zeitpunkt der Veröffentlichung wieder und können sich ohne vorherige Ankündigung ändern. Die hierin zum Ausdruck gebrachten Meinungen spiegeln nicht zwangsläufig die Meinungen der Commerzbank wider. Die Commerzbank ist nicht dazu verpflichtet, dieses Dokument zu aktualisieren, abzuändern oder zu ergänzen oder deren Empfänger auf andere Weise zu informieren, wenn sich ein in diesem Dokument genannter Umstand oder eine darin enthaltene Stellungnahme, Schätzung oder Prognose ändert oder unzutreffend wird.

Um potenziellen Interessenkonflikten vorzubeugen, arbeitet die Research-Abteilung der Commerzbank unabhängig von anderen Geschäftseinheiten der Bank. Dies wird durch physische und administrative Informationsbarrieren und getrennte Berichtslinien sowie durch schriftliche interne Richtlinien und Verfahren erreicht.

Diese Ausarbeitung kann Handelsideen enthalten, im Rahmen derer die Commerzbank mit Kunden oder anderen Geschäftspartnern in solchen Finanzinstrumenten handeln darf. Die hier genannten Kurse (mit Ausnahme der als historisch gekennzeichneten) sind nur Indikationen und stellen keine festen Notierungen in Bezug auf Volumen oder Kurs dar. Die in der Vergangenheit gezeigte Kursentwicklung von Finanzinstrumenten erlaubt keine verlässliche Aussage über deren zukünftigen Verlauf. Eine Gewähr für den zukünftigen Kurs, Wert oder Ertrag eines in diesem Dokument genannten Finanzinstruments oder dessen Emittenten kann daher nicht übernommen werden. Es besteht die Möglichkeit, dass Prognosen oder Kursziele für die in diesem Dokument genannten Unternehmen bzw. Wertpapiere aufgrund verschiedener Risikofaktoren nicht erreicht werden. Hierzu zählen in unbegrenztem Maße Marktvolatilität, Branchenvolatilität, Unternehmensentscheidungen, Nichtverfügbarkeit vollständiger und akkurater Informationen und/



oder die Tatsache, dass sich die von der Commerzbank oder anderen Quellen getroffenen und diesem Dokument zugrunde liegenden Annahmen als nicht zutreffend erweisen.

Die Commerzbank und/oder ihre verbundenen Unternehmen dürfen als Market Maker in den(m) Instrument(en) oder den entsprechenden Derivaten handeln, die in unseren Research-Studien genannt sind. Mitarbeiter der Commerzbank oder ihrer verbundenen Unternehmen dürfen unseren Kunden und Geschäftseinheiten gegenüber mündlich oder schriftlich Kommentare abgeben, die von den in dieser Studie geäußerten Meinungen abweichen. Die Commerzbank darf Investmentbanking-Dienstleistungen für in dieser Studie genannte Emittenten ausführen oder anbieten.

Weder die Commerzbank noch ihre Geschäftsleitungsorgane, leitenden Angestellten oder Mitarbeiter übernehmen die Haftung für Schäden, die ggf. aus der Verwendung dieses Dokuments, seines Inhalts oder in sonstiger Weise entstehen.

Die Aufnahme von Hyperlinks zu den Websites von Organisationen, die in diesem Dokument erwähnt werden, impliziert keineswegs eine Zustimmung, Empfehlung oder Billigung der Informationen der Websites bzw. der von dort aus zugänglichen Informationen durch die Commerzbank. Die Commerzbank übernimmt keine Verantwortung für den Inhalt dieser Websites oder von dort aus zugängliche Informationen oder für eventuelle Folgen aus der Verwendung dieser Inhalte oder Informationen.

Dieses Dokument ist nur zur Verwendung durch den Empfänger bestimmt. Es darf weder in Auszügen noch als Ganzes ohne vorherige schriftliche Genehmigung der Commerzbank auf irgendeine Weise verändert, vervielfältigt, verbreitet, veröffentlicht oder an andere Personen weitergegeben werden. Die Art und Weise, wie dieses Produkt vertrieben wird, kann in bestimmten Ländern, einschließlich der USA, weiteren gesetzlichen Beschränkungen unterliegen. Personen, in deren Besitz dieses Dokument gelangt, sind verpflichtet, sich diesbezüglich zu informieren und solche Einschränkungen zu beachten.

Mit Annahme dieses Dokuments stimmt der Empfänger der Verbindlichkeit der vorstehenden Bestimmungen zu.

Zusätzliche Informationen für Kunden in folgenden Ländern:

Deutschland: Die Commerzbank AG ist im Handelsregister beim Amtsgericht Frankfurt unter der Nummer HRB 32000 eingetragen. Die Commerzbank AG unterliegt der Aufsicht der Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht (BaFin), Graurheindorfer Strasse 108, 53117 Bonn, Marie-Curie-Strasse 24-28, 60439 Frankfurt am Main und der Europäischen Zentralbank, Sonnemannstrasse 20, 60314 Frankfurt am Main, Deutschland.

Großbritannien: Dieses Dokument ist nicht zur Verteilung an Retail-Kunden bestimmt und wurde von der Commerzbank AG, Filiale London, herausgegeben oder für eine Herausgabe in Großbritannien genehmigt; diese Filiale ist von der Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht (BaFin) und der Europäischen Zentralbank amtlich zugelassen und unterliegt deren Regulierung. Sie ist von der Prudential Regulation Authority amtlich zugelassen. Sie unterliegt der Regulierung durch die Financial Conduct Authority und in beschränktem Umfang der Regulierung durch die Prudential Regulation Authority. Einzelheiten zum Umfang unserer Regulierung durch die Prudential Regulation Authority sind auf Anfrage bei uns erhältlich.

USA: Diese Ausarbeitung wurde von der Commerzbank AG erstellt, einem Unternehmen, das in Deutschland und dem Europäischen Wirtschaftsraum (EWR) zum Wertpapierhandel zugelassen ist. Die Commerzbank AG ist kein in den USA registrierter Broker-Händler und unterliegt daher nicht den US-Vorschriften für die Erstellung von Research und den damit verbundenen Vorschriften für Research-Analysten. Dieses Dokument ist nicht zur Weitergabe an Privatkunden bestimmt. Jegliche Verteilung dieser Ausarbeitung an US-Investoren ist für institutionelle Großanleger mit Hauptsitz in USA unter Berufung auf Befreiung von der Registrierung gemäß Rule 15a-6(a)(2) des U.S. Securities Exchange Act von 1934 in der jeweils gültigen Fassung (der „Exchange Act“) bestimmt. Jeder U.S.-Empfänger dieses Research-Berichts, der auf der Grundlage der in diesem Research-Bericht enthaltenen Informationen Transaktionen zum Kauf oder Verkauf von Wertpapieren oder damit verbundenen Finanzinstrumenten durchführen möchte, darf dies nur über einen bei der Financial Industry Regulatory Authority (FINRA) registrierten Broker-Händler tun. Commerz Markets LLC (CMLLC) ist ein in den USA registrierter Broker-Händler und eine hundertprozentige Tochtergesellschaft der Commerzbank AG. Die Commerzbank AG ist ein bei der Commodity Futures Trading Commission (CFTC) registrierter Derivate-Swaphändler gemäß dem Dodd-Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act. US-Personen und damit verbundene Dodd-Frank-relevante Anleger, die auf der Grundlage der in diesem Research-Bericht enthaltenen Informationen Transaktionen mit nicht auf Wertpapieren basierenden Swaps durchführen möchten, dürfen dies nur über einen bei der CFTC registrierten Swap-Händler tun.

Kanada: Die Inhalte dieses Dokuments sind nicht als Prospekt, Anzeige, öffentliche Emission oder Angebot bzw. Aufforderung zum Kauf oder Verkauf der beschriebenen Wertpapiere in Kanada oder einer kanadischen Provinz bzw. einem kanadischen Territorium beabsichtigt. Angebote oder Verkäufe der beschriebenen Wertpapiere erfolgen in Kanada ausschließlich im Rahmen einer Ausnahme von der Prospektspflicht und nur über einen nach den geltenden Wertpapiergesetzen ordnungsgemäß registrierten Händler oder alternativ im Rahmen einer Ausnahme von der Registrierungspflicht für Händler in der kanadischen Provinz bzw. dem kanadischen Territorium, in dem das Angebot abgegeben bzw. der Verkauf durchgeführt wird. Die Inhalte dieses Dokuments sind keinesfalls als Anlageberatung in einer kanadischen Provinz bzw. einem kanadischen Territorium zu betrachten und nicht auf die Bedürfnisse des Empfängers zugeschnitten. In Kanada sind die Inhalte dieses Dokuments ausschließlich für Permitted Clients (gemäß National Instrument 31-103) bestimmt, mit denen die Commerzbank AG und/oder die Commerz Markets LLC im Rahmen der Ausnahmen für internationale Händler Geschäfte treibt. Die Inhalte dieses Dokuments dürfen sich nicht auf Wertpapiere eines Emittenten beziehen, der nach den Gesetzen Kanadas oder einer kanadischen Provinz bzw. eines kanadischen Territoriums gegründet wurde, da die Commerzbank AG und die Commerz Markets LLC im Rahmen der Ausnahmen für internationale Händler gemäß National Instrument 31-103 tätig sind. Keine Wertpapieraufsicht oder ähnliche Aufsichtsbehörde in Kanada hat dieses Material, die Inhalte dieses Dokuments oder die beschriebenen Wertpapiere geprüft oder genehmigt; gegenteilige Behauptungen zu erheben, ist strafbar.

Europäischer Wirtschaftsraum: Soweit das vorliegende Dokument durch eine außerhalb des Europäischen Wirtschaftsraumes ansässige Rechtsperson erstellt wurde, erfolgte eine Neuausgabe für die Verbreitung im Europäischen Wirtschaftsraum durch die Commerzbank AG, Filiale London. Die Commerzbank AG, Filiale London, ist von der Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht (BaFin) und der Europäischen Zentralbank amtlich zugelassen und unterliegt deren Regulierung. Sie ist von der Prudential Regulation Authority amtlich zugelassen. Sie unterliegt der Regulierung durch die Financial Conduct Authority und in beschränktem Umfang der Regulierung durch die Prudential Regulation Authority.



Schweiz: Weder diese Research-Studie noch die hierin enthaltenen Informationen sind als persönliche Empfehlungen für Transaktionen in Finanzinstrumenten im Sinne des Finanzdienstleistungsgesetzes zu betrachten.

Singapur: Dieses Dokument wird in Singapur von der Commerzbank AG, Filiale Singapur, zur Verfügung gestellt. Es darf dort nur von institutionellen Investoren, akkreditierten Investoren oder sachkundigen Investoren, jeweils laut Definition in Section 4A des Securities and Futures Act, Chapter 289, von Singapur („SFA“) gemäß Section 274 bzw. Section 275 des SFA, entgegengenommen werden. Dieses Dokument stellt keine Beratung in bilanziellen, rechtlichen, regulatorischen, steuerlichen, finanziellen oder anderen Fragen und/oder Empfehlungen für den Empfänger dieser Ausarbeitung dar. Darüber hinaus stellen die hierin enthaltenen Mitteilungen/Informationen keine „Finanzberatungs-Dienstleistung“ im Sinne des Financial Advisers Act, Chapter 110, von Singapur („FAA“) dar; deshalb gelten die gegenüber einem Kunden gegebenenfalls zu beachtenden aufsichtsrechtlichen Anforderungen und geschuldeten Pflichten nach oder in Verbindung mit dem FAA nicht in Verbindung mit dieser Ausarbeitung für den Empfänger. Den Empfängern wird empfohlen, zu den hierin enthaltenen Informationen den unabhängigen Rat ihrer eigenen professionellen Berater einzuholen.

Japan: Diese Informationen und ihre Verteilung stellen keine „Aufforderung“ gemäß dem Financial Instrument Exchange Act (FIEA) von Japan dar und sind nicht als solche auszulegen. Diese Informationen dürfen von internationalen Filialen der Commerzbank außerhalb Japans ausschließlich an „professionelle Anleger“ gemäß Section 2(31) des FIEA und Section 23 der Cabinet Ordinance Regarding Definition of Section 2 of the FIEA verteilt werden. Die Commerzbank AG, Tokyo Branch, war nicht an der Erstellung dieser Informationen beteiligt. In dieser Ausarbeitung erwähnte Instrumente können nicht von der Filiale eingeführt werden. Anfragen bezüglich der Verfügbarkeit dieser Instrumente richten Sie bitte an den Bereich Firmenkunden der Commerzbank AG.

Australien: Die Commerzbank AG hat keine australische Lizenz für Finanzdienstleistungen. Dieses Dokument wird in Australien an Großkunden unter einer Ausnahmeregelung zur australischen Finanzdienstleistungslizenz von der Commerzbank gemäß Class Order O4/1313 verteilt. Die Commerzbank AG wird durch die BaFin nach deutschem Recht geregelt, das vom australischen Recht abweicht.

Volksrepublik China (VRC): Dieses Dokument wird von der Commerzbank AG zur Verfügung gestellt und ist ausschließlich für berechnete Institute bestimmt. Niemand sonst darf sich auf Informationen verlassen, die in diesem Dokument enthalten sind. Die in diesem Dokument enthaltenen Produkte und Dienstleistungen gelten nur für Institute in der VRC, für die die Bereitstellung dieser Produkte und Dienstleistungen nach den Gesetzen und Vorschriften der VRC zulässig ist. Für jede Person, die dieses Dokument erhält, dürfen die Informationen in diesem Dokument weder als Marketing oder Werbung des Geschäfts noch als buchhalterische, rechtliche, regulatorische, steuerliche, finanzielle oder andere Beratung und/oder Anlageberatung an den Empfänger dieses Dokuments angesehen werden und dem Empfänger wird geraten, sich von seinen eigenen professionellen Beratern über die hierin enthaltenen Informationen unabhängig zu beraten und sich bei der Durchführung von betreffenden Transaktionen an die Gesetze und Vorschriften der VRC zu halten.

© Commerzbank AG 2024. Alle Rechte vorbehalten. Version 24.04

Commerzbank Filiale

Frankfurt	London	New York	Singapore
Commerzbank AG	Commerzbank AG	Commerz Markets LLC	Commerzbank AG
DLZ - Gebäude 2, Händlerhaus	PO BOX 52715	225 Liberty Street, 32nd floor,	128 Beach Road
Mainzer Landstraße 153	30 Gresham Street	New York,	#17-01 Guoco Midtown
60327 Frankfurt	London, EC2P 2XY	NY 10281-1050	Singapore 189773
Tel: + 49 69 136 21200	Tel: + 44 207 623 8000	Tel: + 1 212 703 4000	Tel: +65 631 10000