Copenhagen Business School

Kandidatafhandling

Optimal hedging af valutarisiko i internationale aktieporteføljer

Forfattere:
Christian Siboni Ottosen, 101126
Lasse Wagner Olsen, 101632

Vejleder:
Søren Bundgaard Brøgger

Cand.merc.(mat.) – Erhvervsøkonomi og Matematik
Institut for Finansiering

Forår 2020
15. maj

Sider: 94
Antal anslag: 237.762

Abstract

This thesis investigates a new approach to optimal currency hedging for international equity portfolios using a modified mean-variance optimization model (MPMVO) developed by Boudoukh et al. (2019) from AQR Capital Management. The model is designed to enhance the practical applicability of traditional mean-variance optimization (MVO) for hedging currency risk with implementable portfolio characteristics and robust solutions. The model divides the optimal portfolio choice into three subcomponents: an initial equity component, a currency hedging portfolio that aims to minimize the equity volatility and a currency alpha portfolio that aims to maximize the risk-adjusted returns through well documented factor investing. The main purpose of this thesis is to provide an overview of the theoretical and practical relevance of the MPMVO model for optimal currency hedging in international equity portfolios. We derive the model and outline necessary theoretical building blocks in the design of the optimal portfolio. The underlying theory will determine our choice of currency components added to the pure equity component. Most empirical studies on optimal currency hedging are limited to the perspective of USD based investors. We provide empirical evidence for optimal currency hedging with the MPMVO model from the perspectives of EUR based investors. We find that the combined MPMVO portfolio outperforms both 100% hedged and unhedged equivalent equity portfolios over the sample period with lower realized volatility and higher excess returns. Finally, we introduce implementation considerations and results on model robustness. We document robust empirical results on the impact of 1) changing model inputs such as rebalancing frequency and leverage, 2) subperiods, 3) transaction costs and 4) short-term shocks exemplified by the current coronavirus crisis.

Indhold

1 Indledning **4**
1.1 Problemformulering . . . 5
1.2 Afgrænsning . . . 5
1.3 Struktur . . . 5

2 Metode **7**
2.1 Data og definitioner . . . 7

3 FX-modeller **12**
3.1 Rentepariteter . . . 12
3.2 Købekraftspariteten . . . 15

4 FX-strategier **19**
4.1 FX som aktivklasse . . . 19
4.2 Momentum . . . 23
4.3 Carry . . . 25
4.4 Value . . . 28

5 Porteføljekonstruktion **31**
5.1 MPMVO . . . 33

6 Resultater **38**
6.1 Empiriske egenskaber . . . 38
6.2 Minimum-varians-porteføljen . . . 40
6.3 Alpha-porteføljen . . . 47
6.3.1 Momentum . . . 48
6.3.2 Carry . . . 55
6.3.3 Value . . . 61
6.3.4 Sammenligning af FX-strategier . . . 66
6.4 MPMVO . . . 77

7 Modelrobusthed **84**
7.1 Gearing og rebalanceringer . . . 84
7.2 Delstikprøver . . . 86
7.3 Transaktionsomkostninger . . . 88
7.4 Coronavirus . . . 90

8 Konklusion **94**

9 Referencer **95**
9.1 Bøger . . . 95
9.2 Artikler . . . 95
9.3 Internetartikler . . . 104

10 Bilag **106**
10.1 R-kode 106
10.2 Afkast- og risikomål 133

1 Indledning

Fordelene ved international diversifikation i aktieporteføljer er gennem årtier blevet dokumenteret i både den teoretiske og empiriske litteratur. Akademikere har vist, at investorer potentielt kan forbedre det risikojusterede afkast ved at diversificere internationalt. I praksis vælger mange investorer imidlertid at ignorere en vigtig komponent i internationale investeringer: den implicitte valutaeksponering. Udsving i valutakurser kan potentielt have negativ indflydelse på afkast- og risikoegenskaberne i internationale aktieporteføljer. Derfor må investorer beslutte, om de vil beholde eller afdække (hedge) den implicitte valutarisiko. For mange investorer rejser dette valg spørgsmålet: Hvordan hedges valutarisiko optimalt i internationale aktieporteføljer?

Optimal hedging af valutarisiko i internationale aktieporteføljer er fortsat diskuteret i den akademiske litteratur. Volatilitet i FX-markedet (i markedsterminologi refereres ofte til valuta som FX for *foreign exchange*) betyder, at hedging af valutarisiko ikke er en triviel overvejelse. Der er ikke et entydigt svar, og derfor vælger investorer ofte at hedge andele af valutarisikoen. Flere akademiske artikler udfordrer denne tilgang og foreslår klassisk middelværdi-varians-optimering (MVO) som den optimale løsning til hedging af valutarisiko herunder Glen & Jorion (1993), Gagnon et al. (1998), Ang & Bekaert (2002), De Roon et al. (2003), Campbell et al. (2010), Schmittmann (2010), Opie & Dark (2015) m.fl., som alle undersøger optimale hedgingstrategier med udgangspunkt i teorien udviklet af Anderson & Danthine (1981). De dokumenterer alle positive resultater for hedging af valutarisiko, men der er fortsat uenighed om en optimal tilgang. Samtidig producerer MVO-tilgangen ofte urealistiske porteføljer med ekstreme positioner, som ikke kan implementeres i praksis. Vi finder, at professionelle investorer generelt er mere tilbageholdende over for fordelene ved hedging af valutarisiko end den akademiske litteratur. I en eVestment-screening bestående af 1627 globale aktiefonde med i alt EUR 3,8 bn. aktiver under forvaltning (pr. januar 2020), finder vi, at kun 9,2% håndterer valutarisiko aktivt. Indsnævres universet til EUR-baserede globale aktiefonde bestående af 152 aktiefonde med EUR 303 mia. aktiver under forvaltning finder vi, at kun 6,6% håndterer valutarisiko aktivt. Fra et risikoperspektiv kan passiviteten skyldes usikkerheden om, hvorvidt hedging kan reducere den samlede risiko. Flere argumenterer for, at hedging af valutarisiko i internationale aktieporteføljer kan øge volatiliteten, da man fjerner diversifikationseffekten ved at holde FX-aktiver indirekte. Samtidig kan det være et udtryk for en bekymring om, at omkostningerne ved hedging af valutarisiko reducerer det forventede afkast.

I denne afhandling præsenterer vi en ny tilgang til hedging af valutarisiko i internationale aktieporteføljer ved en modificeret middelværdi-varians-model (MPVMO) udviklet af Boudoukh et al. (2019) fra AQR Capital Management. Denne model er designet til at forbedre den praktiske anvendelighed af MVO-tilgangen til hedging ved at balancere lavere risiko med højere afkast. Helt konkret nedbryder MPMVO-modellen den optimale portefølje i tre delkomponenter: 1) en 100% hedged aktiekomponent, 2) en FX-portefølje designet til at minimere aktievolatiliteten og 3) en FX-portefølje, som har til formål at producere høje risikojusterede afkast ved allokering til veldokumenterede faktorstrategier, som i gennemsnit er ukorrelerede med aktier. Den eksisterende litteratur om optimal hedging af valutarisiko i internationale aktieporteføljer har indtil nu taget udgangspunkt i USD-baserede investorer. Vi forbin-

der teori fra MPVMO-modellen og praksis ved at implementere modellen for EUR-baserede investorer. Vi undersøger, om man ved MPMVO-modellen kan konstruere en robust portefølje, som i gennemsnit forbedrer afkastet og reducerer volatiliteten i en international aktieportefølje sammenlignet med både 100% afdækkede og uafdækkede aktieporteføljer.

1.1 Problemformulering

Afhandlingen ønsker at undersøge optimale valutastrategier forbundet med hedging af valutarisiko i internationale aktieporteføljer. Undersøgelsen vil tage udgangspunkt i en modificeret middelværdi-varians-model (MPMVO) udviklet af Boudoukh, Richardson, Thapar & Wang (2019) fra AQR Capital Management. Der foretages en udledning af det teoretiske fundament og en gennemgang af de empiriske resultater for hedging af valutarisiko i internationale aktieporteføljer. Her vil den underliggende teori definere det optimale valg af delkomponenter i MPMVO-modellen. Afhandlingen vil endvidere udarbejde en praktisk implementering af MPMVO-modellen for en EUR-baseret investor. Hovedspørgsmålet i afhandlingen er således, om man ved hjælp af MPMVO-modellen til optimal hedging af valutarisiko kan tilføje værdi for investorer med internationale aktieporteføljer.

1.2 Afgrænsning

Vi undersøger optimal hedging af valutarisiko i internationale aktieporteføljer ved MPMVO-modellen. MPMVO-modellen vil både være udgangspunktet i den teoretiske og empiriske del af afhandlingen. Anden litteratur vil blive introduceret for at sætte modellen i relation til de eksisterende resultater på området. I henhold til MPMVO-modellen vil vi afgrænse det optimale valg af valutaporteføljer til 1) en "hedge"-portefølje, der ønsker at minimere aktievolatiliteten ved at producere en maksimalt negativt korreleret valutaportefølje med aktieporteføljen og 2) en "alpha"-portefølje, der ønsker at maksimere det risikojusterede afkast ved hjælp af de tre valutastrategier: momentum, carry og value. Fokus vil ikke være en dybdegående undersøgelse af komplekse carry-, momentum- og valuestrategier, men derimod at optimere fundamentale udgaver af disse. Momentum, carry og value er velbeskrevet i den eksisterende litteratur, mens kombinationen af disse i FX-markedet fortsat mangler dokumentation. Afhandlingen vil derfor også have til formål at belyse sammenspillet mellem strategierne. De fleste empiriske undersøgelser af hedging af valutarisiko i internationale aktieporteføljer har taget udgangspunkt i en USD-baseret investor. Vi dokumenterer empiriske resultater for en EUR-baseret investor. EUR vil derfor være den indenlandske valuta gennem hele afhandlingen. Den empiriske analyse afgrænses af ugentlige og månedlige observationer over perioden fra d. 2. januar 2002 til d. 31. december 2019. Den empiriske analyse af optimale hedgingstrategier baseres endvidere på G11-valutaer i spotmarkedet, hvorfor andre valutaer og forwardmarkedet ikke vil blive behandlet.

1.3 Struktur

I kapitel 2 præsenterer vi afhandlingens metodiske grundlag. Der gives en præsentation af data anvendt i den empiriske undersøgelse samt en beskrivelse af nødvendige definitioner. Kapitel 3-5 indeholder afhandlingens teoretiske fundament. Vi foretager en grundig gennemgang af den eksisterende teoretiske og empiriske litteratur. Kapitel 3 præsenterer teori om fundamentale FX-modeller som et led i forstå-

elsen af den underliggende dynamik i valutakurser og som en nødvendig betingelse i udarbejdelsen af FX-strategier. I kapitel 4 præsenterer vi FX som aktivklasse, og hvordan FX kan anvendes i investeringssstrategier. Vi gennemgår FX-strategierne momentum, carry og value, som danner rammen for den alphagenererende valutaportefølje i MPMVO-modellen. Som sidste led i den teoretiske begrebsramme vil afhandlingen i kapitel 5 introducere porteføljekonstruktion til optimal hedging af valutarisiko. MPMVO-modellen vil blive udledt, og de enkelte delkomponenter vil blive defineret.

I kapitel 6 præsenterer og diskuterer vi de empiriske resultater for MPMVO-modellen implementeret for en EUR-baseret investor. Vi giver indledningsvis et overblik over de empiriske egenskaber for valuta- og aktiemerafkast. De separate delkomponenter i MPMVO vil efterfølgende blive implementeret og kombineret i den endelige samlede MPMVO-portefølje. I kapitel 7 undersøger vi robustheden af MPMVO. Vi præsenterer de empiriske resultater for modellen, når vi 1) justerer begrænsninger og input, 2) måler over delstikprøver og indflydelsesrige observationer og 3) tager højde for turnover og transaktionsomkostninger. Vi undersøger endvidere effekten af den aktuelle coronakrise. I kapitel 8 konkluderes på de opnåede teoretiske og empiriske resultater. Den resterende del af afhandlingen indeholder en oversigt over de anvendte referencer samt et bilag bestående af relevant R-kode vedrørende implementeringen af MPMVO-modellen og en oversigt over anvendte afkast- og risikomål.

2 Metode

Afhandlingens metodiske grundlag er positivismen. Positivismens fokus er en objektivt eksisterende omverden gennem empirisk erfaring og logik (rationel erfaring). Man skal kunne beskrive den situation, der vil verificere påstanden. I positivismen udtrykkes økonomien som en samfundsvidenskabelig disciplin, der i praksis anvender kvantitative datasæt og metoder som statistik til at opstille hypoteser (Nygaard, 2012, s. 31). Samtidig vil vi anvende neoklassisk økonomisk teori med antagelsen om rationelle forventninger, risikoneutralitet og fravær af arbitrage. Det metodiske udgangspunkt tillader, at vi kan anvende matematiske formuleringer til at beskrive økonomisk adfærd.

Hovedmodellen i denne afhandling er beskrevet af Boudoukh et al. (2019) fra den amerikanske hedgefond AQR Capital Management (AQR). AQR er en global kapitalforvalter, der ikke nødvendigvis anvender lignende investeringsstrategier eller analysemetoder som beskrevet i denne model. Modellen er eksternt bedømt ved hjælp af en dobbeltblindet peer review-proces, hvilket indebærer, at både forfattere og eksterne bedømmere er anonyme gennem hele bedømmelsesprocessen. Da modellen blev accepteret til offentliggørelse, takkede forfatterne de eksterne bedømmere for deres bidrag (Boudoukh et al., 2019, s. 80).

Udledning og implementering af modellen foretages i værktøjsprogrammerne Mathematica og R. Programmerne muliggør matematiske beregninger, hurtige kørsler af algoritmer og simuleringer. Mathematica er et værktøj, som indeholder software til numerisk løsning af ligninger, visualiseringsværktøjer og programmeringssprog. De matematiske beregninger, herunder udledningen af modellen, afvikles i Mathematica. R er et open-source statistikprogram og programmeringssprog. I R foretages kodning, som omfatter både databehandling, statistisk analyse og simuleringer af den implementerede model. Relevant R-kode kan findes i bilag afsnit 10.1.

2.1 Data og definitioner

Vores empiriske analyse tager udgangspunkt i et datamateriale bestående af ugentlige og månedlige observationer over perioden fra d. 2. januar 2002 til d. 31. december 2019. Den empiriske analyse foretages for en EUR-baseret investor, som holder en international aktieportefølje og kan anvende G11-valutaer til at hedge sin valutaeksponering. G11-valutaerne defineres som den amerikanske dollar (USD), australske dollar (AUD), britiske pund (GBP), canadiske dollar (CAD), danske kroner (DKK), japanske yen (JPY), norske kroner (NOK), newzealandske dollar (NZD), svenske kroner (SEK), schweizerfranc (CHF) og euro (EUR). G11-valutaerne repræsenterer flere af de mest likvide valutaer i FX-markedet og tillader derfor mere effektive handelsstrategier sammenlignet med mindre likvide valutaer (målt på daglig turnover i FX-markedet 2019 (se BIS, 2019, s. 5)). Valutakurserne er indhentet til lukkekurs på den sidste handelsdag i hver uge. Det samlede datamateriale er indhentet fra Bloomberg og består af følgende delkomponenter:

- MSCI ACWI Index i EUR
- MSCI ACWI Index 100% hedged til EUR

- MSCI ACWI Index valutainddeling (vægtet på markedsværdi)
- Spotkurser for G11-valutaer (EUR indenlandsk valuta)
- 3M xIBOR-renter for G11-valutaer (eller ækvivalent)
- Bid-ask spreads for G11-valutaer
- Købekraftsparitetsdata (OECD Purchasing Power Parity)

Vi betragter i alt to aktieporteføljer indhentet fra den globale indeksudbyder Morgan Stanley Capital International (MSCI). Begge indeks er indhentet i total return (TR), hvor nettoudbytte reinvesteres. MSCI ACWI Index (MSCI All Countries World Index) er et standardiseret globalt aktieindeks, som repræsenterer store og mellemstore børsnoterede virksomheder i 23 udviklede markeder og 26 nye markeder (emerging markets). Indekset består af mere end 3000 aktier i 11 sektorer og udgør 85% af de samlede markedsværdi på hvert marked (MSCI, 2020, s. 1). I praksis kan en investor være mere tilbøjelig til at holde sig til hjemmemarkedet (have et "home bias") eller favoriserer specifikke sektorer og markeder, hvilket ikke overraskende vil påvirke behovet for hedging af valutarisiko og dermed resultaterne i vores model. Vi indhenter indekset denomineret i EUR, da vi baserer vores empiriske analyse på en optimal strategi for en EUR-baseret investor. Med andre ord inkluderes den udenlandske valutaeksponering i aktieindekset. Vi refererer til aktieporteføljen, MSCI ACWI, som den uafdækkede aktieportefølje eller EQU. Den anden aktieportefølje, MSCI ACWI 100% hedged til EUR, konstrueres som summen af afkastet ved MSCI ACWI udtrykt i EUR samt afkastet ved at hedge valutaeksponeringen tilbage til EUR. Der er således to komponenter i et MSCI hedged til EUR indeks:

- Afkastet ved det udækkede aktieindeks angivet i den indenlandske valuta
- Afkastet ved et 100% hedge af valutarisikoen (for at repræsentere gevinsten eller tabet ved at hedge) i den indenlandske valuta

Begge delkomponenter rebalanceres månedligt på den sidste handelsdag i måneden. MSCI ACWI 100% hedged til EUR er konstrueret af MSCI og har til formål at repræsentere et estimat for det afkast, der kan opnås ved at hedge valutaeksponeringen i det standardiserede aktieindeks, MSCI ACWI. De hedgede afkast bestemmes ved at hedge tilbage til indeksets indenlandske valuta. Det sker ved at sælge de udenlandske valutaer 1M forward. Det betyder også, at hedgepositionen er konstant pr. rebalancering (på månedsbasis). Valutavægtene i indekset bestemmes ved de relative markedsvægte i aktierne i det underliggende aktieindeks. MSCI ACWI hedged til EUR er tilgængeligt på ugebasis tilbage til 2002. Før 2002 findes kun månedlige observationer. Vi henviser til MSCI (2018) for mere information om hedgingmetoden i konstruktionen af det hedgede internationale aktieindeks. Vi refererer desuden til det EUR-hedgede MSCI ACWI-indeks som den 100% EUR-hedgede aktieportefølje eller EQ.

Vi definerer spotkursen, S_t, ved prisen på at købe én enhed af den udenlandske valuta angivet i den indenlandske valuta:

$$S_t = \frac{\text{enheder af indenlandsk valuta}}{\text{enheder af udenlandsk valuta}}$$

Valutakurser er unikke, da både S_t og $1/S_t$ er økonomisk meningsfulde variable, og dette kan ofte give anledning til forvirring. Begge valutaer kan fungere som numeraire-valuta, og der findes i alt $N(N-1)/2$ valutapar for en pulje af N valutaer. Af samme grund er det vigtigt at forstå definitionen af et valutakryds ("FX cross"), da rækkefølgen i krydset har stor betydning for fortolkningen. Hvis man eksempelvis går lang i USD/EUR købes USD mod at sælge EUR, og man ønsker derfor, at USD styrkes relativt til EUR. Det følger, at USD/EUR er approksimativt lig 0,92. Man behandler typisk den første valuta i parret som den udenlandske valuta og den sidste som den indenlandske valuta. Notationen kan passende sammenlignes med notationen af råvarepriser f.eks. guld/USD, hvor USD typisk er numeraire-valutaen.

Vi indhenter 3M LIBOR-renter (3 måneders London InterBank Offered Rate) på ugebasis. LIBOR-renter har løbetider mellem 1B til 12M for alle større valutaer, hvor 3M og 6M i praksis er de mest anvendte løbetider. Udover den velkendte British Bankers' Association (BBA) LIBOR findes også EURIBOR, CIBOR m.fl., hvorfor vi generelt refererer til disse som xIBOR-renter. xIBOR-renter reflekterer lån i interbank-markedet uden sikkerhedsstillelse. Fastsættelsen af xIBOR-renter beregnes ved et trunkeret gennemsnit af rentesatser, som indsendes af udvalgte panelbanker. xIBOR-renters hovedformål er at fungere som referencerenter i rentederivater. Bemærk, at xIBOR-renter kun er indikative for usikrede lån på interbank-markedet. Bankerne er ikke forpligtede til at tilbyde lån under disse betingelser (de er vejledende og ikke baseret på faktiske transaktioner). Vi anvender overordnet 3M xIBOR-renter til to formål:

- Proxy for den risikofrie rente i de respektive valutaer til bestemmelse af valuta- og aktiemerafkast
- Identifikation af høj- og lavrentevalutaer i implementering af valutastrategien carry

Da xIBOR-renter ofte anvendes som referencerenter i rentederivater, kan disse bruges som approksimationer for den risikofri rente. For AUD og NZD indhenter vi 3M bank bills, som anvendes som approksimationer for Bank Bill Swap rates, som er referencerenter i AUD og NZD renteswaps og anses for at være ækvivalent med LIBOR-satser. For CAD indhenter vi Canadian Dollar Offered Rate (CDOR) som en passende erstatning for LIBOR. Brugen af 3M xIBOR til bestemmelsen af merafkast er konsistent med GIPS (The Global Investment Performance Standards), som er en standardiseret tilgang til bestemmelsen af investeringsafkast med henblik på at sikre gennemsigtighed og sammenlignelighed af porteføljeafkast. Bemærk også, at xIBOR-renter reflekterer lån i interbank-markedet uden sikkerhedsstillelse, mens f.eks. "risikofrie" renter på T-Bills (amerikanske statsobligationer (treasury bills)) garanteres af staten. Empiriske artikler har vist, at når banker står med likviditetsproblemer, stiger TED-spændene (forskellen mellem 3M T-bill og 3M LIBOR), da T-bill-renten falder grundet "flight-to-liquidity"-effekten (se bl.a. Brunnermeier (2008)).

Stikprøveperioden fra d. 2. januar 2002 til d. 31. december 2019 vælges på baggrund af den brede tilgængelighed af valutakursdata i EUR og indførelsen af ugentlige observationer for de EUR-baserede MSCI ACWI indeks i 2002. Vores valg af ugentlige observationer for valutaer og aktieindeks er grundlæggende et spørgsmål om robusthed. Brug af ugentlige observationer er en måde at mindske potentiel støj i vores stikprøve, som kan forekomme ved daglige observationer på tværs af både valuta- og ak-

tiemarkeder. Samtidig undgår vi asynkronitet i daglig data, som kan opstå ved forskydninger mellem børsernes åbningstider. Omvendt kan færre observationer betyde mere variable estimater og modelusikkerhed. Det er med andre ord et spørgsmål om at afbalancere bias og varians af de observerede værdier. Anvendelse af ugentlige observationer er konsistent med den eksisterende litteratur på området. Vi er naturligvis klar over, at vores stikprøve indeholder observationer fra finanskrisen 2007-2009 og deraf også potentielle indflydelsesrige observationer. Samlet set ser vi ingen argumenter, der bør få os til at overveje at udelade observationer til trods for, at observationerne fra finanskrisen udgør en stor andel af vores stikprøve. Vi vil adressere betydningen af finanskrisen i resultatbehandlingen.

Beregningen af aktie- og valutamerafkast er foretaget ved hjælp af 3M xIBOR-renter. Vi definerer merafkastet på aktier ved:

$$r_{t+1} = R_{t+1} - R^d_{ft}$$

hvor R_{t+1} er aktieafkastet til tid $t+1$, og R^d_{ft} er den indenlandske risikofrie rente til tid t. Valutamerafkast kan ses som investeringsstrategier, hvor investoren modtager renteforskellen mellem to valutaer for at påtage sig FX-risikoen. Merafkastet i valutaer kan da skrives ved:

$$r^{FX}_{t+1} = R^{FX}_{t+1} + (R^f_{ft} - R^d_{ft})$$

hvor R^d_{ft} er den indenlandske risikofrie rente til tid t, R^{FX}_{t+1} er valutaafkastet til tid $t+1$, og R^f_{ft} er den udenlandske risikofrie rente til tid t.

For at evaluere vigtigheden af transaktionsomkostninger i vores model udregnes turnover (TO) i de individuelle valutaporteføljer defineret ved:

$$\text{TO} = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{N}\left(|w_{i,t+1} - w_{i,t}|\right) \tag{2.1}$$

hvor $w_{i,t}$ er porteføljevægten i valuta i før rebalancering til tid $t+1$, $w_{i,t+1}$ er porteføljevægten efter rebalancering til tid $t+1$, T er antallet af perioder mellem rebalanceringer, og N er antallet af valutaer i den samlede portefølje.

Vi estimerer transaktionsomkostningerne, der opstår ved hedging af valutarisiko for at undersøge den praktiske anvendelighed af vores model. Beregningen af transaktionsomkostningerne kræver kendskab til bid-ask spreads, som er indhentet fra Bloomberg på ugebasis over hele stikprøveperioden. Bid- og askpriser (sidstnævnte også kaldet offer prices) er i markedsterminologi priserne, der hhv. sælges og købes til. Et bid-ask spread, forskellen mellem bid- og askpriserne, siger derfor noget om likviditeten i markedet. De indhentede bid- og askpriser er konstrueret ved Bloombergs sammensatte spotkurser fra

mere end 100 valutaudbydere. Vi estimerer de årlige transaktionsomkostninger ved:

$$\mathrm{TC} = \sum_{i=1}^{N} \mathrm{TO}_i \cdot \mathrm{BAS}_i \tag{2.2}$$

hvor TO_i angiver den årlige turnover af valuta i, og BAS_i angiver det gennemsnitlige bid-ask spread for valuta i. Det gennemsnitlige bid-ask spread for valuta i kan da udtrykkes ved:

$$\mathrm{BAS}_i = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^{T} S_{i,t}^{a} - S_{i,t}^{b}$$

hvor $S_{i,t}^{b}$ og $S_{i,t}^{a}$ angiver hhv. bid- og askpriser for valuta i til tid t.

Definitioner og anvendte formler for de beregnede afkast- og risikomål i den empiriske resultatbehandling (inkl. Sharpe ratio, Sortino ratio, Value-at-Risk, Expected Shortfall m.fl.) kan findes i bilag afsnit 10.2.

3 FX-modeller

Klassiske FX-modeller er udgangspunktet i analysen af FX-markedet og samtidig et uundværligt værktøj til at forstå dynamikken i valutakurser. Økonomer har i tre årtier forsøgt at skabe en logisk ramme for et antal af ligevægtsmodeller, som ønsker at forklare prissætningen af FX-markedet ved hjælp af relative renteniveauer og relative priser på varer. Det har imidlertid vist sig at være en ekstremt vanskelig opgave at finde grundlæggende ligevægtsmodeller med forudsigelig kapacitet. Modellerne er enten baseret på en ligevægt, rationelle investorer eller antagelser om en risikoneutral verden, som under de fleste omstændigheder ikke holder i praksis. Vi præsenterer i dette kapitel to kategorier af fundamentale valutamodeller: 1) rentepariteter og 2) købskraftspariteten. De seneste mange års udsving i FX-markedet har tilsyneladende vist sig uforklarlige i sammenhæng med disse modeller, og på baggrund af dette er flere nye resultater blevet introduceret. Disse resultater er typisk motiverede af den eksisterende empiriske og teoretiske litteratur. Vi introducerer artikler, som af flere omgange både har finjusteret de traditionelle valutamodeller og kommet med nye. Vi præsenterer empirisk litteratur, som udfordrer de klassiske modeller ved at vise evidens for både markedsinefficiens og afvigelser fra fundamentale antagelser i FX-markedet. Det skal på ingen måde ses som et forsøg på at bagatellisere det enorme bidrag, som den klassiske litteratur har ydet til analysen af FX, men snarere at understrege vigtigheden af de forskellige faktorer, som påvirker FX-markedet i dag. Analysen af den eksisterende litteratur om klassiske FX-modeller skal tilmed bidrage til forståelsen og udarbejdelsen af FX-strategier i senere afsnit.

3.1 Rentepariteter

Rentepariteter er et vigtigt fundament i modelleringen af FX-strategier og i forståelsen af dynamikkerne i FX-markedet. De kræver imidlertid kendskab til FX-forwardmarkedet og lineære FX-derivater. En FX forward (valutaterminskontrakt) er blandt de mest anvendte lineære FX-derivater og er en bilateral OTC (Over-the-counter) kontrakt, hvor man aftaler at købe en valuta mod at sælge en anden valuta på et fremtidigt aftalt tidspunkt til en på forhånd aftalt kurs. Det er således en aftale om at udveksle to faste og modsatrettede cash flows på et fremtidigt tidspunkt T. Forskellen mellem spotkursen og forwardkursen reflekterer renteforskellen mellem to valutaer repræsenteret ved *forward points*. FX forwards kvoteres typisk ved disse forward points givet på formen:

$$\text{fwd points} = \text{fwd FX} - \text{spot FX} = X(t,T) - S_t$$

hvor $X(t,T)$ er forwardkursen på tid T set fra tid t. Tid t-prisen på en FX forward-kontrakten bestemmes som andre forwardkontrakter ved, at kontrakten har en NPV på 0. I fravær af arbitrage betyder det, at:

$$X(t,T) = S_t \frac{P^f(t,T)}{P^d(t,T)} = S_t \cdot \exp(r_d(t,T) - r_f(t,T)(T-t))$$

hvilket er den kontinuerte version af den dækkede renteparitet (*Covered Interest Rate Parity*, CIRP), hvor r_d og r_f er hhv. de risikofrie nulkuponrenter i nulkuponobligationerne $P^d(t,T)$ og $P^f(t,T)$ i

den indenlandske (d) og udenlandske (f) valuta. Ifølge den dækkede renteparitet skal valutaer med høje renter sælges til en "forward discount", mens valutaer med lave renter skal sælges til en "forward premium" sammenlignet med den nuværende valutakurs under det risikoneutrale sandsynlighedsmål. CIRP er således en ikke-arbitrage betingelse om, at man ikke kan fastlåse et højere afkast ved at bytte valutaer uden at tage FX-risikoen. Empiriske artikler har imidlertid vist, at CIRP ikke holder i praksis. Ved invertering af CIRP kan man vise, at den FX-implicitte diskonteringsrente fås ved:

$$r_d^{\mathrm{FX}} = r_f(t,T) + \frac{1}{T-t}\log\left(\frac{X(t,T)}{S_t}\right)$$

som typisk er forskellig fra $r_d(0,T)$. Denne forskel kaldes for en *FX basis* og er typisk negativ for særligt USD grundet den store efterspørgsel efter likviditet i USD gennem FX-markedet og forskellen i kreditrisiko mellem UK og US xIBOR-panelbankerne (Linderstrøm, 2013, s. 36-38).

Under antagelse af efficiente markeder og rationelle forventninger kan vi erstatte forwardkursen med den forventede fremtidige spotkurs under det risikoneutrale sandsynlighedsmål. Erstattes $X(t,T)$ med $E^Q[S_T]$ fås den udækkede renteparitet (*Uncovered Interest Rate Parity*, UIRP) på formen:

$$\mathbb{E}_t^Q[S_T] = \frac{S_t(1+r_d(t,T))}{1+r_f(t,T)}$$

eller på anden vis:

$$\mathbb{E}_t^Q[S_T - S_t] \simeq r_d(t,T) - r_f(t,T)$$

Ifølge den udækkede renteparitet vil det forventede payoff ved valutaafkastet udlignes af renteforskellen mellem to valutaer. Med andre ord vil forskellen i renterne mellem to valutaer være lig den relative ændring i valutakursen. Den udækkede renteparitet holder i praksis ikke (eller kun undtagelsesvis) for den sande sandsynlighedsfordeling. Der er flere empiriske beviser på, at valutaafkastet ikke kompenserer for renteforskellene, heriblandt Bilson (1980), Fama (1984) og Lewis (1995). Bilson (1980) demonstrerer, at forwardkurser er biased og inefficiente prædiktorer for fremtidige spotkurser, og at fremtidige spotkurser er tættere på de nuværende spotkurser end på forwardkurser. Han argumenterer for, at valutamarkedet er inefficient med tilstedeværelsen af en risikopræmie og en fejlagtig antagelse om rationelle forventninger. Fama (1984) afviser markedsefficiens i valutamarkedet ved at dokumentere, at der eksisterer en negativ korrelation mellem fremtidige valutakurser og de nuværende renteforskelle. Fama viser, at der findes en forwardpræmie:

$$X(t,T) - S_t$$

som er omvendt proportional med fremtidige valutaændringer, og at valutaer med høje renter derfor styrkes fremfor svækkes overfor valutaer med lave renter. Denne empiriske regularitet kaldes for "the forward premium puzzle" og står i stærk kontrast til resultaterne i den udækkede renteparitet. Den

forventede valutaændring kan jf. Fama da modificeres til:

$$\mathbb{E}_t^Q[S_T - S_t] = r_d - r_f + \phi_t$$

hvor ϕ_t er en risikopræmie.

Empiriske modeller baseret på den udækkede renteparitet har generelt ikke været succesfulde med at beskrive dynamikken i valutakurser, og den begrænsede anvendelighed er fortsat til diskussion blandt akademikere. Blandt kritikere er Meese & Rogoff (1988), som finder statistisk signifikante resultater for ustabile sammenhænge mellem valutakurser og renter. Samtidig viser de, at renteforskelle ikke giver signifikante forbedringer i prædiktionen af valutakurser sammenlignet med en random walk. Cheung et al. (2005) betragter prædiktion af valutakurser ved fem forskellige modeller, heriblandt den udækkede renteparitet, købekraftspariteten, produktivitetsmodeller og sammensatte modeller m. makroøkonomiske faktorer. De finder tilsvarende, at den udækkede renteparitet klarer sig signifikant dårligst blandt modellerne relativt til en random walk. I kontrast til de andre modeller er ingen af de fittede UIRP-modeller kointegrerede med spotkurserne. Alquist & Chinn (2006) finder tilsvarende, at den udækkede renteparitet holder bedre for længere perioder, men blandt statistisk signifikante resultater er en random walk et bedre alternativ til prædiktion af valutakurser. McCallum (1992) argumenterer for, at pengepolitisk adfærd er én af grundene til, at den udækkede renteparitet ikke holder i praksis. Centralbankerne håndterer nemlig systematisk renteforskellene for at undgå ændringer i valutakurser men også for at udjævne rentebevægelser.

Positive resultater er imidlertid også dokumenteret for den udækkede renteparitet. Der er dog fortsat en diskussion om, hvorvidt den holder bedst over korte eller lange tidsperioder. Cheung & Chinn (2001) finder, at fundamentale økonomiske principper som den udækkede renteparitet har større betydning over længere tidsperioder, mens bevægelser over kortere perioder er drevet af spekulation fra diverse kapitalforvaltere og hedgefonde. Spekulation anses imidlertid for at være positivt, da det forbedrer efficiensen og likviditeten i valutamarkedet, omend det øger volatiliteten. Alexius (2001) tester den udækkede renteparitet for en længere tidshorisont ved at anvende lange renter, herunder renter fra tiårige statsobligationer, som referencerenter. Resultaterne viser tegn på, at den udækkede renteparitet holder bedre for lange renter end for korte renter. Resultaterne er konsistente med Chinn & Meredith (2004), som finder, at forholdet mellem renter og valutakurser på længere sigt domineres af fundamentale dynamikker, der er i overensstemmelse med den udækkede renteparitet.

Omvendt viser Clark & West (2006), at den udækkede renteparitet bidrager positivt til prædiktionen af CAD, JPY, CHF og GBP sammenlignet med en random walk for kortere tidsperioder. Molodtsova & Papell (2009) finder tilsvarende bevis for, at kortsigtede prædiktionsmodeller af valutakurser baseret på renteforskelle er statistisk signifikante for i alt 11 ud af 12 valutaer. Chaboud & Wright (2005) finder resultater, der understøtter den udækkede renteparitet over ultrakorte tidsperioder, der spænder over tidspunktet for de diskrete rentebetalinger. Over de korteste perioder med de største renteforskelle, ser renteforskellen således ud til at udligne enhver risikopræmie. En sådan fortolkning siger imidlertid intet om størrelsen af risikopræmien ved mere konventionelle tidshorisonter. De positive resultater forsvinder

nemlig hurtigt, hvis de tilføjer få timer til deres tidsperiode (Chaboud et al., 2005, s. 349). Hvis vi samtidig tror, at forkastelsen af den udækkede renteparitet repræsenterer irrationel adfærd blandt markedsdeltagerne, jf. Bilson (1980), Fama (1984) og Lewis (1995), kunne vi måske også forvente, at den mislykkes selv for meget korte tidsperioder.

3.2 Købekraftspariteten

Købekraftspariteten (*Purchasing Power Parity*, PPP) er en af de mest anvendte metoder til bestemmelse af en valutas fundamentale værdi. PPP er en teori, der er baseret på "loven om én pris" og foreskriver, at to ens varer i to forskellige lande vil have samme pris i et efficient marked. Dermed skal valutakursen nærme sig et langsigtet ligevægtsniveau, således at dette er opfyldt. Loven om én pris opfyldes under følgende antagelser:

- Ingen handelsbarriere eller arbitragemuligheder
- Ingen transaktionsomkostninger
- De handlede varer er perfekt homogene

Vi kan illustrere købekraftspariteten ud fra et tænkt eksempel: Antag at prisen på den samme mobiltelefon i Danmark og USA er henholdsvis DKK 5000 og USD 1000. I så fald vil det under antagelsen af, at mobiltelefonen repræsenterer prisforskellen mellem de to lande, betyde, at PPP-ligevægtsniveauet for USD/DKK valutakursen skal være 5. Hvis PPP-ligevægtsniveauet for USD/DKK er 5, kan følgende to overordnede konklusioner drages:

1. Den aktuelle USD/DKK valutakurs skal nærme sig PPP-ligevægtsniveauet over tid
2. Den aktuelle USD/DKK valutakurs er under– eller overvurderet relativt til PPP-værdien

Da den aktuelle USD/DKK valutakurs approksimativt er lig 6,8, vil det betyde, at DKK er signifikant undervurderet relativt til PPP-værdien. Dermed skal DKK styrkes over tid for at eliminere undervurderingen, således at det langsigtede ligevægtsniveau opretholdes. Hvorvidt DKK styrkes eller ej, styres af udbud og efterspørgsel i FX-markedet. I tilfældet hvor vores eksempel holder stik, vil DKK anses for at være en "billig" valuta, hvilket øger efterspørgslen på danske varer, som styrker valutaen. I praksis sammenlignes en lang række varer og serviceydelser over alle lande for at lave den mest valide sammenligning af priser. Siden 1968 har International Comparison Program (ICP) indsamlet data på varer og serviceydelser. ICPs funktion er at tilvejebringe sammenlignelige pris- og volumenmål for bruttonationalproduktet (BNP). Gennem et partnerskab med internationale, regionale, subregionale og nationale agenturer, indsamler og sammenligner ICP prisdata og BNP-udgifter til at estimere og offentliggøre købekraftspariteter (PPP'er) af hele verdens økonomier (The World Bank, u.å.). Matematisk kan PPP defineres som forholdet mellem to nationale prisniveauer:

$$S = \frac{P}{P^*} \tag{3.1}$$

eller skrevet ved:

$$P = S \cdot P^*$$

hvor S er PPP-værdien svarende til det langsigtede ligevægtsniveau for valutakursen. P angiver det indenlandske prisniveau, og P^* angiver det udenlandske prisniveau. Vi definerer valutakursen i (3.1) som en nominel værdi i den forstand, at den udtrykker forholdet mellem de nuværende prisniveauer.

I relation til købekraftspariteten findes også "den reale valutakurs" (RER). RER er en funktion af PPP og defineres som den nominelle valutakurs justeret for prisforskellen mellem landene. Vi kan matematisk udtrykke RER som:

$$\text{RER} = \frac{SP^*}{P}$$

Købekraftspariteten anses i litteratur for at være en af de vigtigste betingelser for international handel, og mange økonomiske modeller vedrørende forudsigelse af valutakurser er bygget på betingelsen om PPP (se bl.a. Bilson (1984), Frenkel (1978)). Det er imidlertid veldokumenteret i litteraturen, at der især på kort sigt ses afvigelser mellem den aktuelle valutakurs og PPP. Tidligere litteratur har testet evidens for PPP gennem klassiske regressionsmodeller. Man har imidlertid haft svært ved at dokumentere tilstedeværelsen af PPP (James et al., 2012, s. 56). Omvendt finder Frenkel (1978), at PPP er et godt benchmark for modellering af valutakursers langsigtede ligevægtsniveau. Frenkels model (og modeller før 1978) tager i deres empiriske undersøgelse imidlertid ikke højde for stationaritetstest. Stationaritet i den reale valutakurs er en nødvendig betingelse for evidens af et langsigtet ligevægtsniveau og dermed PPP. I perioden efter 1978 har der været særlig fokus på stationaritet jf. Adler & Lehmann (1983), Frankel (1986), Meese & Rogoff (1988). Helt specifikt testes om de reale valutakurser er stationære, eller om de følger en ikke-stationær proces, hvormed valutakursens konvergens mod et langsigtet ligevægtsniveau ikke er mulig. Blandt velkendte stationaritetstest findes Ljung Box-test og unit root test. Lothian & Taylor (1996) foretager unit root tests på valutakrydsene USD/GBP og CHF/GBP over perioden 1791–1990 og finder evidens for stationaritet i RERs. Senere finder Taylor (2002) evidens for PPP i 20 valutaer overfor USD i perioden 1871-1996. Koedijk et al. (2004) studerer effekten af EUR-introduktionen i 1999. Helt konkret tester de, om PPP holder for en række RERs baseret på valutaer i eurozonen. Generelt finder de evidens for PPP for alle RERs, og kun i enkelte tilfælde kan nulhypotesen om tilstedeværelse af en unit root ikke forkastes. Cheung et al. (2005) undersøger, hvorvidt PPP holder på kort eller lang sigt. De finder, at PPP er bedre end en random walk til at forudsige valutakurser på lang sigt. Haug & Basher (2011) finder, at valutakurser nærmer sig de langsigtede PPP-niveauer, mens afvigelserne fra PPP kan findes på kort sigt. Huang & Yang (2015) undersøger de reale valutakurser for 11 europæiske lande. De finder evidens for svag mean-reversion i de reale valutakurser efter introduktionen af EUR i 1999 og stærk mean-reversion-tendens før 1999 baseret på unit root tests. De finder, at mean-reversion-tendensen er stærk i europæiske lande uden EUR som Norge, Sverige, Schweiz og England både før og efter 1999.

Teorien om PPP er udledt af loven om én pris. Det ses imidlertid, at valutakurserne ikke altid reflek-

terer PPP-værdien. I det tilfælde vil der opstå en arbitragemulighed i markedet, hvor det er muligt at købe det samme produkt i to forskellige lande til to forskellige priser. Ideelt set vil priserne konvergere på længere sigt, da købsaktiviteten vil presse priserne op i det "billige" land, mens salgsaktiviteten vil presse priserne ned i det "dyre" land. I praksis kan priskonvergeringen tage flere måneder eller endda år. De primære årsager er blandt andet begrænsninger på frihandelen såsom toldsatser. Næsten alle lande har importrestriktioner, f.eks. på landbrugsprodukter for at beskytte den indenlandske landbrugssektor (Pakko & Pollard, 2003, s. 16). Beskatning på varer og fortjenester på varer varierer ligeledes på tværs af lande. Varer er ikke altid homogene og kan variere på f.eks. kvalitet. Selv i de tilfælde hvor varerne er perfekt homogene, kan virksomheder, såfremt det er tilladt, prisdiskriminere på forskellige markeder. Baggrunden for prisdiskriminering kan skyldes kulturelle forskelle, pristolerance, transportomkostninger, udbud/efterspørgsel mv. Balassa (1964) dokumenterer, at ikke-omsættelige varer systematisk afviger fra PPP, da produktiviteten på tværs af lande varierer. Han argumenterer for, at ikke-omsættelige varer såsom serviceydelser er inkluderet i priserne, hvorfor lande med høj indkomst vil have overvurderede valutaer sammenlignet med lande med lav indkomst, som vil have undervurderede valutaer. Desuden vil de sande prisniveauer kunne påvirkes og forsinkes af høj markedsvolatilitet, da det vil være svært for virksomheder at sætte konkurrencedygtige priser. Da PPP bygger på antagelsen om, at de relative priser på varer afspejler valutakursen, vil forstyrrede prisniveauer derfor være et problem. Valutakurser påvirkes endvidere af penge- og finanspolitiske tiltag, geopolitisk risiko og statsgældsrisiko. Transmissionen af pengepolitikken kan give tidsforskydninger i prisudviklingen og variere fra land til land (se bl.a. Angeloni & Ehrmann (2003)).

Blandt ICPs samarbejdspartnere er OECD. OECD beregner PPP-værdier ud fra aktuelle prisniveauer baseret på ca. 3000 varer og serviceydelser, 30 statslige erhverv, 200 udstyrsprodukter (maskiner, computersoftware mm.) og omkring 15 byggeprojekter med henblik på at lave international BNP-sammenligning. Det store antal produkter gør det lettere for lande at identificere de varer og tjenester, som repræsenterer de indenlandske udgifter (OECD, u.å.). Den direkte PPP-sammenligning adskiller sig fra andre metoder som CPI (Consumer Prices Index) og PPI (Producer Price Index), da OECD udnytter aktuelle prisniveauer, mens prisindeks udnytter udviklingen i priser relativt til en tidligere basisperiode (James et al., 2012, s. 210). Af andre direkte PPP-mål findes det velkendte Big Mac Index (BMI). BMI blev introduceret af nyhedsmagasinet The Economist i 1986 og bruges som indikator for, om valutaer afspejler deres "sande niveau". Med andre ord skal en valutakurs over længere sigt nærme sig et ligevægtsniveau, der vil udligne priserne på en identisk pulje af varer og tjenester i to lande. I BMI-indekset er sammenligningsgrundlaget for priser en Big Mac. Fordelen ved BMI er simpliciteten i, at en Big Mac næsten kan købes overalt i verden og modsat OECDs metode kun baseres på én vare. BMI er ligeledes anvendt som PPP-mål i den empiriske litteratur. Pakko & Pollard (1996) forklarer en række afvigelser fra PPP, som skyldes transportomkostninger, statslige handelsrestriktioner samt beskatning. De forklarer, at transportomkostninger er forskellige fra land til land grundet forskellige priser på transport af ingredienser til burgeren. Tilsvarende finder de, at statslige handelsrestriktioner, som inkluderer forskellige toldsatser fra land til land, også bryder PPP-antagelsen. De forklarer, at prisen på en Big Mac afspejler salget og beskatningen af salget, hvorfor forskelle i skattesystemer på tværs af lande fører til forskelle i Big Mac-pariteter. Afslutningsvis nævner de, at omkostninger som

husleje og løn varierer på tværs af lande og dermed øger afvigelserne fra pariteten. I nyere litteratur tilføjer Haidar (2011), at begrænsninger i Big Mac-indekset skyldes variabiliteten i efterspørgsel på Big Macs på tværs af lande, produktivitetsforskelle, statslige udgifter samt underskud på betalingsbalancen. O'Brien & de Vargas (2017) og Clements & Si (2017) fremhæver vigtigheden af at inkludere BNP i overvejelserne, når en valutas pris skal bestemmes – netop som OECD gør. Deres undersøgelser bygger på, at The Economist i 2011 introducerede et justeret Big Mac-indeks, som tager højde for BNP-forskelle på tværs af lande. Formålet med det nye indeks er at adressere kritikken af det oprindelige indeks, som ikke tager forbehold for, at burgerpriser er lavere i fattige lande sammenlignet med burgerpriser i rige lande. De beskriver, at The Economists justerede Big Mac-indeks mangler en række forklaringer og belæg for de justeringer, de laver i indekset, når de tager højde for BNP. Dette har medført en begrænset accept af det nye indeks som reelt mål for fremtidige niveauer af valutakurser. Deres empiriske test viser imidlertid, at det nye indeks, som tager højde for BNP, performer bedre end det traditionelle Big Mac-indeks. Deaton & Heston (2010) konkluderer i deres undersøgelse af PPP, at BMI er nyttig grundet indeksets simplicitet med én vare til at sammenligne priser på globalt plan. Den eksisterende litteratur viser imidlertid, at der er en række faktorer, som øger prisforskellen mellem landene, hvorfor Big Mac-indekset ikke er tilstrækkeligt. OECD og ICP forbedrer dette ved at tage højde for alle udgifterne i BNP (OECD, u.å.). I praksis anvender flere kapitalforvaltere OECDs PPP-data i FX-valuestrategier. Deutsche Bank (2009) argumenterer for, at det direkte PPP-mål fra OECD er mere robust og omfattende sammenlignet med andre direkte PPP-mål. Årsagen til dette er, at OECD beregner PPP-værdier for at sammenligne BNP-værdier og ikke med henblik på at forudsige valutakurser.

4 FX-strategier

I de foregående afsnit introducerede vi klassiske teorier til modellering af valutakurser. I dette kapitel præsenterer vi valuta som en enkeltstående aktivklasse, og hvordan valutaer kan anvendes i forskellige investeringsstrategier. I markedsterminologi kaldes disse strategier ofte for *FX alpha strategier*, som involverer lange og korte positioner i valutaer med henblik på at generere aktive og positive merafkast. Vi introducerer både currency overlay strategier og faktorstrategier med de tre faktorer: momentum, carry og value, som senere skal danne ramme for vores alphagenererende valutaportefølje. I praksis viser vi, at momentum er bestemt af tidligere bevægelser og tekniske mønstre, mens carry og value udnytter de klassiske økonomiske modeller gennemgået i kapitel 3. Carry er baseret på afvigelser fra den udækkede renteparitet og udnytter renteforskelle mellem valutaer, mens value er drevet af afvigelser fra ligevægtskurserne og idéen om én pris. Analysen af disse faktorer bidrager til karakteriseringen af de finansielle mønstre i valutamarkedet. Vi gennemgår endvidere den eksisterende litteratur for hver af de tre faktorer for at give et retvisende billede af faktorernes anvendelighed i FX-markedet.

4.1 FX som aktivklasse

S&P 500 har i løbet af de seneste år nået nye rekorder, og renterne er historisk lave. Vi har samtidig været vidne til flere korrektioner på de globale markeder som resultat af et langvarigt bullmarked, en usikkerhed i handelskrigen mellem USA og Kina og senest udbruddet af coronavirussen (Covid-19). Det har medført øget volatilitet med rekordhøje VIX-niveauer (VIX er et indeks baseret på implicit volatilitet i 30-dages call- og putoptioner skrevet på S&P 500) samt nedjusteringer af de forventede afkast i de traditionelle aktivklasser som aktier og obligationer. Investorer søger derfor nye måder at forbedre deres porteføljer på. Enten ved at tilføje flere typer af aktiver, lave mere dynamiske allokeringer med mere fokus på diversifikation eller ved at lede efter nye måder at finde alpha på bl.a. gennem hedgefonde og private equity. Investorer genovervejer i stigende grad samtidig afvejningen mellem aktiv og passiv forvaltning (se bl.a. "*Sharpening the Arithmetic of Active Management*" af L. H. Pedersen (2016)).

Den stigende interesse for alternative investeringsmuligheder har bragt FX i søgelyset. Som det største og mest likvide finansielle marked i verden (se tabel 1) tilbyder valutamarkedet investorer en række omkostningseffektive måder at implementere nye investeringsstrategier på. Disse strategier har lave korrelationer med traditionelle aktiver (se bl.a. Burnside et al. (2006)) og kan således bidrage til et forbedret risikojusteret afkast i en multivariat aktivportefølje.

	Daglig turnover	Antal værdipapirer
FX-markedet	$6,6 bn.	150 (40 aktivt handlede)
Obligationsmarkedet	$700 mia.	2.000.000+
Aktiemarkedet	$200 mia.	20.000+

Tabel 1: FX-markedet er det største og mest likvide globale marked. Kilde: Bank of International Settlements (BIS) Triennial Central Bank Survey (2019), SIFMA (2019).

FX Swaps	Spot	Forwards	Optioner	CCSs
49%	30%	15%	4%	2%

Tabel 2: Fordelingen af instrumenter i FX-markedet 2019 (% af gennemsnitlige daglige turnover i april 2019). Kilde: Bank of International Settlements (BIS) Triennial Central Bank Survey (2019).

FX-markedet har en høj likviditet og gode diversifikationsmuligheder i forskellige OTC-instrumenter, som giver forskellige muligheder inden for både hedging og spekulation (se tabel 2 for typer af instrumenter i FX-markedet). Ifølge Bank of International Settlements (BIS, ofte kendt som centralbankernes bank) Triennial Survey 2019 er handelsvolumenen i FX-markedet steget kraftigt over de seneste tre år. Den gennemsnitlige daglige turnover var i 2019 lig USD 6,6 bn. (eng: tn, 10^{12}) sammenlignet med USD 5,1 bn. i 2016, hvilket er en stigning på næsten 30%. Samtidig stod de største 10 valutaer i gennemsnit for næsten 90% af den daglige turnover i FX-markedet i 2019. Derfor argumenterer flere også for, at FX er et fornuftigt sted at søge hen i tider med markedsuro, hvor f.eks. obligationsmarkeder kan blive meget illikvide med store bid-ask spreads. Endvidere har FX-markedet åbent 24 timer i døgnet i forskellige dele af verden og vil også forblive åbent under markedskriser sammenlignet med andre markeder, som kan være genstand for midlertidige lukninger (f.eks. ved suspenderingen af handlen i aktiemarkedet af flere omgange i marts 2020 under store fald på de globale markeder som følge af den verdensomspændende coronavirus). Samtidig har FX-markedet et højt antal af markedsdeltagere med forskellige incitamenter. Flere markedsdeltagere er ikke profitmaksimerende f.eks. centralbanker, som ønsker diversifikation af reserver og reduktion af volatiliteten i deres indenlandske valuta, eller investorer i andre aktivklasser, som handler FX for at hedge eller delvist hedge deres afkast. Virksomheder kan handle FX for at gøre det lettere at drive forretning i udlandet (se opdeling af markedsdeltagere i tabel 3). Dette bryder med antagelsen om profitmaksimerende markedsdeltagere i teorien om markedsefficiens. Det betyder også, at FX-markedet naturligt har markedsdeltagere på begge sider. På den måde reduceres muligheden for markedspåvirkning og overfyldte positioner fra systematiske investeringsstrategier.

Markedsdeltagere	Andel af handelsvolumen (i %)
Bankvirksomheder	38%
Andre finansielle institutioner	34%
Institutionelle investorer	12%
Hedgefonde	9%
Ikke-finansielle virksomheder	7%

Tabel 3: Markedsdeltagere i FX-markedet målt på gennemsnitlig daglig turnover i april 2019. Andre finansielle institutioner omfatter både centralbanker, mindre bankvirksomheder, pensionskasser, forsikringsselskaber mv. Kilde: Bank of International Settlements (BIS) Triennial Central Bank Survey (2019).

Ifølge Harr (2020) kan det nu give mening for kapitalforvaltere og investorer m.fl. at betragte valuta som en alphagenererende aktivklasse for sig ved udelukkende at fokusere på currency overlay strategier (eng: *currency overlay strategies*). Investorerne i det nuværende finansielle miljø med lavere forventede afkast bør derfor søge eksponeringer, som inkluderer regelbaserede valutastrategier med henblik på at optimere merafkastet i den samlede aktivportefølje. Ifølge Bank of International Settelements stod hedgefonde for USD 200 mia. af den gennemsnitlige daglige turnover i april 2016, mens hedgefonde i april 2019 stod for USD 593 mia., hvilket svarer til en stigning på næsten 200%. Denne stigning kan indikere, at vi generelt ser flere spekulative positioner i FX. En databasesøgning af artikler med både nøgleordene "currency" og "asset class" i samme artikel viser også indikationer af den stigende interesse for FX som aktivklasse. Før 1990 finder vi 540 resultater, mens vi mellem 1990-2007 finder 2087 resultater og fra 2007 til 2020 finder 4749 resultater. Selvom ikke alle artikler specifikt refererer til FX som aktivklassen, kan screeningen indikere, at investorer i stigende grad inddrager FX-overvejelser i deres internationale investeringsbeslutninger. Spørgsmålet er, hvordan man i praksis implementerer en effektiv valutastrategi.

Currency overlay strategier er en kategori af investeringsstrategier, som bruges til at separere håndteringen af valutarisiko fra den primære aktivallokering i investorens portefølje. En currency overlay strategi kan overordnet enten være passiv eller aktiv. Den passive strategi anvendes typisk som et værktøj til at hedge mod en international valutaeksponering ved at konvertere eksponeringen tilbage til investorens indenlandske valuta. Aktive currency overlay strategier ønsker også at hedge valutaeksponeringen men samtidig at øge afkastet ved hjælp af dynamiske valutaallokeringer. Man lader hedgingbeslutningen afhænge af den forventede udvikling i valutakurserne. En aktiv strategi vil således forsøge at optimere positionerne i valutaer til ikke blot at konvertere eksponeringen tilbage til den indenlandske valuta men også til at opnå et valutamerafkast. Generel porteføljeteori foreskriver, at aktiver som tilføjes i et overlay og er imperfekt korrelerede med aktiverne i porteføljen kan øge diversifikationen i den samlede portefølje. Med andre ord vil inddragelsen af disse nye aktiver i porteføljen forbedre porteføljens

risikojusterede afkast (Rangvid, 2002, s. 8). Currency overlay strategier har af denne grund historisk lave korrelationer med både aktie- og obligationsmarkeder (se bl.a. J.P. Morgan Asset Management, 2008). Det er derfor ikke de samme økonomiske faktorer, som driver disse strategier sammenlignet med investering i traditionelle aktivklasser.

FX inkluderes imidlertid sjældent hos investorer. Det skyldes, at FX generelt ikke anses for at tilbyde en signifikant risikopræmie sammenlignet aktier og obligationer. Kun få inkluderer FX som en del deres strategi for taktisk aktivallokering (TAA). Andre investorer betragter det som vanskeligt at få en omkostningseffektiv valutastrategi, der tilføjer værdi. I stedet inkluderes traditionelt råvarer som hedge mod f.eks. inflation. Flere investorer har den holdning, at valutamarkedet er efficient, og at valutaer generelt følger en random walk. Nogle investorer mener, at valutamarkedet er et nulsumsspil og kan ignoreres i investeringsbeslutningen (Luu, 2016, s. 1).

Flere empiriske artikler foreslår muligheden for at forbedre porteføljer gennem regelbaserede investeringsstrategier, der søger ukorrelerede merafkast. Særligt får faktorinvestering bred akademisk støtte, da det kan tilbyde vedvarende og ukorrelerede merafkast (Luu, 2016, s. 1). Definitionen af faktorer varierer på tværs af aktivklasser. Faktorer i aktiemarkedet blev defineret af Sharpe (1964) i forbindelse med den velkendte CAPM-model, hvor han introducerede faktorer som size, value og momentum. Disse faktorer er i dag bredt implementeret af investorer og er med til at adskille aktive og passive investeringer. Faktorer i fixed income-markedet er i højere grad drevet af statistiske faktorer som principalkomponentanalyse og rentestrukturmodeller, mens virksomhedsobligationer jf. Fama & French (1993) m.fl. drives af varighed, kredit og likviditet. Denne opdeling af faktorer blev imidlertid brudt af Ross (1976) ved *arbitrage pricing theory* (APT), som er baseret på ideen om, at et aktivs forventede afkast kan modelleres som en lineær funktion af forskellige faktorer, som fanger systematisk risiko. Idéen er, at faktorer som momentum, carry og value ikke kun vedrører aktier men alle aktivklasser – såkaldte markedsfaktorer. Den traditionelle tilgang til analyse af valutakurser har tidligere været baseret på økonomiske faktorer som inflation, lønniveauer, produktivitet, handelsbalancer og kapitalstrømme mv. Disse faktorer er endvidere kun tilgængelige på uge- eller månedsbasis og tilgængeligheden er ikke konsistente på tværs af lande. Hvis vi derimod betragter markedsfaktorer som i aktiemarkedet fås en højere frekvens af data. Hvis vi tilmed antager, at valutamarkedet er efficient, indeholder markedspriserne al den tilgængelige information, som også vedrører de økonomiske faktorer.

Faktorinvestering i valutamarkedet har til formål at måle eksponeringen overfor hver valuta relativt til de valgte faktorer, således at dynamiske valutaporteføljer kan sammensættes optimalt. Empiriske artikler om faktorer er særlig udbredt inden for tre faktorer: momentum, carry og value. De har hver især et simpelt akademisk fundament men stærke empiriske resultater. Endvidere har merafkastene fra disse faktorer typisk komplementære egenskaber, der gør dem mere effektive som helhed end som enkeltstående faktorer. Schindler et al. (2013) viser, at en investor, som holder en international aktieportefølje, kan generere op til 30% højere afkast pr. enhed risiko ved at inkorporere currency overlay strategier med faktorerne momentum, carry og value målt over perioden 1985-2009. Afkastet skyldes især den øgede diversifikation fra de tre faktorer. De tager også højde for transaktionsomkostninger

ved rebalancering af valutapositionerne og viser, at afkastet fortsat er signifikant. Faktisk har flere investeringsbanker herunder Bank of America, Citibank, Deutsche Bank, RBS og J.P. Morgan sammenfattet de mest populære faktorstrategier, der bruges af aktive valutainvestorer som momentum, carry, og value og tilbyder i dag indeks og ETFs baseret på disse strategier.

4.2 Momentum

I sin simpleste form tager en momentumstrategi lange positioner i aktiver med høje foregående merafkast og korte positioner i aktiver med lave foregående merafkast. Man benævner typisk disse lange og korte positioner som henholdsvis "winners" og "losers". Momentumstrategier kan derfor ses som et sats på, at aktiver, der har leveret et højt merafkast i fortiden, også vil gøre det i fremtiden. Mange investorer er skeptiske over for strategien, da man køber et aktiv, der allerede er steget i værdi, hvilket er imod den klassiske tankegang om at "købe billigt og sælge dyrt". Empirisk evidens for momentum er imidlertid veldokumenteret i den eksisterende litteratur. De banebrydende resultater for momentum blev præsenteret i en undersøgelse offentliggjort i Journal of Finance af Jegadeesh & Titman (1993). De dokumenterer, at en strategi, hvor man tager lange positioner i aktier, der for nyligt er steget ("winners"), og korte positioner i aktier der for nyligt er faldet ("losers"), giver signifikant højere afkast på kort sigt sammenlignet med det samlede aktiemarked i USA over perioden 1965-1989. De etablerer en tidsramme for en succesful momentumstrategi, der foreskriver, at aktiens afkast over de foregående 3-12 måneder typisk prædikterer dens efterfølgende afkast over de næste 3-12 måneder. Momentum er efterfølgende blevet kritiseret som investeringsstrategi blandt tilhængere af den efficiente markedshypotese udviklet af Fama i 1960'erne. Den efficiente markedshypotese bygger på teorien om, at en ændring i en akties pris afspejler al tilgængelig information, hvorfor det ikke kan lade sig gøre at outperforme markedet. Den empiriske evidens for momentum i valutamarkedet blev senere eftervist af Menkhoff et al. (2012b), der dokumenterer, at det i højere grad er muligt at generere positive merafkast ved momentum i FX-markedet sammenlignet med aktiemarkedet grundet højere likviditet og lavere transaktionsomkostninger.

Momentumbaserede strategier er blandt flere beskrevet af Jegadeesh & Titman (1993), (2001), hvor rangeringen af aktier bestemmes ud fra tekniske regler. Deres strategi rangerer aktier ud fra de tidligere n måneders afkast og inddeler herefter aktierne i 10 forskellige porteføljer. Ud fra de enkelte porteføljer implementeres long-short-porteføljer ved at gå lang (kort) i de porteføljer, hvis aktiers tidligere n måneders afkast er højest (lavest). Tilsvarende rangeringssystem anvendes af Okunev & White (2003) i FX-markedet. Momentumstrategien modificeres ved at implementere moving-average-regler i stedet for at anvende de n måneders tidligere afkast. Helt konkret evaluerer Okunev & White 354 moving-average-regler for otte valutaer over perioden 1980-2000. De identificerer de stærkeste og svageste valutaer mht. momentum og tager efterfølgende både lange og korte positioner. Deres strategi giver konsistente resultater på tværs af delstikprøver med et annualiseret afkast på over 6%. De konkluderer samtidig, at autokorrelation har grundlæggende betydning for en succesfuld momentumstrategi, og at strategier implementeret ved moving-average-regler i FX-markedet ikke kræver hyppig udskiftning af positionerne. Menkhoff et al. (2012b) finder tilsvarende signifikante merafkast i en momentumstrategi baseret på 48 valutaer med et merafkast op til 10% pr. år over perioden 1976-2010. Deres strategi reba-

lanceres månedligt, hvor der dannes seks porteføljer baseret på 1-12 måneders tidligere merafkast. De tager udgangspunkt i en USD-baseret investor, hvor investoren går lang i valutaer med høje foregående merafkast og kort i valutaer med lave foregående merafkast. I resultatbehandlingen viser de, at de gennemsnitlige merafkast og standardafvigelser for momentum- og carryporteføljerne ligner hinanden, men at der er en tydelig forskel i skævheden i de empiriske fordelinger for merafkastene. Momentumstrategien producerer en positiv skævhed, mens carrystrategien producerer en negativ skævhed. I modsætning til Menkhoff et al. (2012b) viser Dahlquist & Hasseltoft (2020) imidlertid en negativ skævhed i fordelingen over merafkastene for en momentumstrategi med G10-valutaer. Menkhoff et al. (2012b) udvider litteraturen om momentum ved at kvantificere vigtigheden af 1) transaktionsomkostninger, 2) systematisk og ikke-systematisk risiko, 3) andre kilder til momentumafkast som under- og overreaktioner blandt investor samt 4) arbitragebegrænsninger. Ad 1) viser de, at momentumporteføljer i FX-markedet har en stor andel af mindre likvide valutaer, som giver højere transaktionsomkostninger svarende til 50% af afkastet. Den store koncentration af mindre likvide valutaer i momentumporteføljen betyder, at der tages lange og korte positioner i valutaer med høj idiosynkratisk risiko, landespecifik risiko samt ustabile renteniveauer, hvilket øger risikoen for den enkelte investor. Ad 2) og 3) viser deres resultater, at op- og nedture i momentumafkast kan fortsætte kontinuert helt op til 36 måneder grundet over- og underreaktioner fra investorer. De finder ligheder mellem momentum i valuta- og aktiemarkedet, da momentumafkastet i valutamarkedet primært er drevet af valutaer, der er svære at hedge såvel som valutaer med høj landerisiko, hvilket tilsvarer momentum i aktiemarkedet, som primært er drevet af aktier med høj kreditrisiko. Ad 4) diskuteres arbitragebegrænsningerne som skyldes, at merafkastene er ustabile på den korte bane, hvilket kan være en hindring for markedsdeltagere i FX-markedet som kapitalforvaltere og hedgefonde med kortere investeringshorisont. Sidstnævnte understøttes af Daniel & Moskowitz (2016).

Raza et al. (2014) udvider den empiriske analyse ved at inkludere 68 forskellige valutaer fordelt på nye og udviklede markeder. I modsætning til tidligere litteratur betragter de en kortere tidshorisont med en lookback- og holding-periode på én til fire uger. De undersøger momentum og mean-reversion for ugentlige valutaafkast over perioden 1997-2013. Momentumstrategien implementeres ved at tage lange (korte) positioner i de valutaer, der er styrket (svækket) mest i forhold til USD. Mean-reversionstrategien implementeres som den inverse af momentumstrategien. Valutapuljen rangeres på baggrund af tidligere merafkast, hvorefter momentumporteføljen konstrueres. Positive værdier i strategien vil betyde, at de ugentlige valutaafkast viser momentum, mens negative værdier vil betyde, at de ugentlige afkast viser mean-reversion. De finder empirisk evidens for en kortsigtet momentumstrategi med årlige merafkast op mod 8,1% pr. år. Ligeledes finder de en signifikant forøgelse af momentumafkastet, når lookback-perioden øges samt et højere momentumafkast, når den amerikanske økonomi er i vækst. I deres empiriske analyse af FX-markedet finder de også, at merafkastene er højere i perioder, hvor markedet er faldet tilbage relativt til USD, mens merafkastene er lavere i perioder, hvor markedet er styrket relativt til USD.

Nyere litteratur har forsøgt at binde momentum i FX-markedet sammen med traditionelle risikofaktorer. Nævneværdige eksempler herpå er Orlov (2016), der undersøger aktielikviditetens effekt på

merafkast i momentumstrategier i FX-markedet. Hans empiriske resultater viser, at illikvide aktiemarkeder kan forklare udviklingen i momentum. Han viser, at merkastet på momentumstrategien er lavt efter måneder med høj illikviditet i aktiemarkedet fra 1976-2001. Resultaterne er konsistente på tværs af valutaer og tidsperioder både før og efter transaktionsomkostninger. Omvendt finder Orlov (2016), at forholdet mellem likviditet i aktiemarkedet og merafkast ved momentum i FX-markedet er omvendt proportionalt i perioden 2001-2012. Her viser han, at afkastet ved momentumstrategien er højt efter måneder med høj illikviditet i aktiemarkedet.

Filippou et al. (2016) undersøger sammenhænge mellem FX momentum og den globale økonomiske risiko. De finder, at det globale geopolitiske miljø har en effekt på afkastet i FX momentumstrategier. De inkorporerer en prisfastsættelsesmodel, der set i forhold til den amerikanske økonomi, tager højde for uventede bevægelser i politiske tilstande. Deres resultater viser, at investorer, der tager lange positioner i valutaer i lande med høj politisk risiko, vil kræve en præmie for at påtage sig denne risiko. Samtidig viser de, at valutainvestorer er villige til at løbe en større risiko, når de investerer i disse valutaer.

4.3 Carry

En af de mest populære valutastrategier i FX-markedet er en såkaldt carry trade. Carry er basalt set en investeringsstrategi, hvor man tager lange positioner i valutaer med høje renter ("investment currencies") og korte positioner i valutaer med lave renter ("funding currencies") og derved udnytter de ex ante observerbare renteforskelle (carry) mellem valutaer til at generere afkast. Er carry så en "free lunch"? Nej, for man skal påtage sig FX-risikoen. Det betyder, at carrystrategier kun er profitable, når summen af afkastet ved renteforskellen og FX-afkastet er positivt.

Betragt en EUR-baseret investor med ønske om at foretage en carry trade. Investoren kan da låne i EUR til den risikofrie rente og købe en udenlandsk valuta til kurs $1/S_t^i$, hvor S_t^i er defineret som enheder EUR pr. udenlandsk valutaenhed. Da vil investoren kunne investere i den udenlandske rente og konvertere gevinsten tilbage til EUR i slutningen af investeringsperioden. Payoff ved at tage lange positioner i udenlandske valutaer med EUR som indenlandsk valuta i fravær af transaktionsomkostninger kan da skrives ved:

$$R_T^i = \frac{S_T^i}{S_t^i}(1 + r_t^i) - (1 + r_t^{\text{EUR}})$$

hvor S_t^i er spotkursen i EUR pr. enhed udenlandsk valuta i til tid t. Payoff i en carrystrategi kan da skrives ved:

$$R_T^i = sign(r_t^i - r_t^{\text{EUR}})R_T^i$$

Carry trades kan også implementeres i forwardmarkedet. For at forstå dynamikken i en forward carry trade kræver det kendskab til forwardmarkedet for valutaer introduceret i afsnit 3.1. Investoren kan da indgå en FX forward til tid t med udløb T, så en carrystrategi opnås ved at sælge valutaer forward,

når der er en forwardpræmie:

$$X(t,T)^i > S_t^i$$

og købe FX forwards, når der er forward discount:

$$X(t,T)^i < S_t^i$$

Payoff ved strategien kan da skrives ved:

$$R_T^i = sign(X(t,T)^i - S_t^i)(X(t,T)^i - S_T^i)$$

Modbeviset af den udækkede renteparitet har medført en øget interesse for carrystrategier blandt praktikere og akademikere. Som tidligere nævnt antages valutakursen under den udækkede renteparitet at justeres til et niveau, hvor investorer ikke har incitament til at foretage en carry trade. I tilfælde af en for lav forward discount eller en for høj forwardpræmie, vil investorer kunne opnå en gevinst ved at lave en hhv. carry trade eller en reverse carry trade. Flere empiriske artikler argumenterer for, at carry tilbyder en signifikant risikopræmie, da valutaer med høje renteniveauer (høj-carry valutaer) har mere eksponering overfor generel markedsrisiko, og at investorer belønnes for at tage denne risiko (AQR Capital Management, 2019, s. 1).

Brunnermeier et al. (2008) har påpeget, at carry i gennemsnit genererer positive afkast i tilfælde af, at den udækkede renteparitet ikke holder. Brunnermeier et al. (2008) viser derimod, at carrystrategier generelt producerer mere halerisiko, dvs. valutaer med høje renter udviser større negativ skævhed sammenlignet med valutaer med lave renter. Dette understøttes ved, at store fald i valutakurser er positivt korrelerede med stigninger i aktievolatilitet ved hhv. VIX-indekset og TED-spændene, som ofte er forbundet med lavere likviditet og risikoaversion (Brunnermeier et al., 2008, s. 7, s. 23). Laborda et al. (2013) tilføjer investeringsstrategier, som tillader dynamiske vægte, som kan skifte mellem lange og korte positioner i carryporteføljen. Deres strategi går kort i carryporteføljer i perioder med øget usikkerhed og risikoaversion i markedet. Jórda & Taylor (2009) viser tilsvarende negativ skævhed og halerisiko for afkastene i simple long-short carrystrategier for G10-valutaer. De introducerer i stedet alternative carrystrategier, som inkorporerer informationen om det fundamentale ligevægtsniveau for valutakurser (FEER), og udfordrer de traditionelle carry trades ved at generere en højere Sharpe ratio og skævhed tættere på 0. Lustig et al. (2011a) identificerer faktorer i valutaer relativt til USD ved hjælp af principalkomponentanalyse. De finder, at carry kan replikeres ved en global risikofaktor, hvilket medfører, at valutaer med høje renter svækkes, mens valutaer med lave renter styrkes, når den globale markedsvolatilitet stiger. De viser således, at investorer øger deres eksponering mod den globale markedsrisiko ved at indgå i carrystrategier. Menkhoff et al. (2012a) undersøger ligeledes forholdet mellem global volatilitet og long-short carrystrategier. De finder empiriske beviser for, at afkast i valutaer med høje renter er negativt korrelerede med global volatilitet og derfor leverer lavere afkast i perioder med høj markedsvolatilitet. Med andre ord vil carrystrategier klare sig dårligt under markedsuro. De argumenterer for, at valutaer med lave renter derfor kan fungere som hedge mod uventede ændringer

i den globale volatilitet. Farhi et al. (2015) estimerer markedsrisiko ved anvendelse af valutaoptioner og finder, at volatilitetssmil er hhv. symmetriske før finanskrisen og asymmetriske efter. Asymmetrien afhænger af niveauet af renterne, og valutaer med høje renter reflekterer i høj grad risikoen for svækkelse under finansielle kriser. Farhi et al. viser, at denne risikopræmie ved carry er lav før krisen men høj efter krisen. Risikopræmien forklarer i virkeligheden mere end 1/3 af risikopræmien ved carry i en stikprøve bestående af G10-valutaer. Daniel et al. (2017) viser, at det gennemsnitlige merafkast ved en dollarneutral carryportefølje er positivt men har en høj negativ skævhed og korrelation med generelle markedsrisikofaktorer som aktiemarkeder og obligationsmarkeder. Nomura (2019) finder tilsvarende resultater for EUR-baserede investorer. En diversificeret carrystrategi (som ikke er USD- eller EUR-neutral) på tværs af G10 har derimod et højere afkast, en højere Sharpe ratio, minimal skævhed og lav korrelation med risikofaktorer. Filippou & Taylor (2017) viser tilsvarende, at en simpel long-short carrystrategi medfører et annualiseret afkast på 4,24% og en Sharpe Ratio på 0,46 for en stikprøve bestående af G10-valutaer i perioden 1985-2012.

Flere kapitalforvaltere, herunder J.P. Morgan Asset Management (2008), Deutsche Bank (2009), Amundi Asset Management (2019) og Nomura (2019) m.fl., viser, at valutaer med høje renter outperformer valutaer med lave renter i simple carrystrategier. J.P. Morgan Asset Management (2008) har testet en ligevægtet carryportefølje med hhv. tre korte og lange positioner for G10 over 33 år (1975-2008). De viser, at det gennemsnitlige merafkast pr. år i perioden er 6,83%. Samtidig har merafkastene en meget lav korrelation med to af de største aktivklasser: aktier og fixed income. Carry-afkastet har en gennemsnitlig korrelation med US-aktier på 0,12 og en korrelation -0,12 med US fixed income, hvilket viser tegn på, at FX carry kan øge diversifikationseffekten i en aktie- eller fixed income-portefølje.

I nyere tid er carry ofte diskuteret i forbindelse med faktorinvestering og diverse risikopræmiestrategier. Carrystrategier er imidlertid blevet udfordret af lavere renteniveauer og øget volatilitet, som flere akademikere mener har fjernet incitamentet for carry. I mange år var AUD/JPY et populært valutakryds i carry-sammenhæng. AUD har historisk haft høje renter og høj korrelation med den globale økonomi, hvilket har givet AUD-investorer pæne renteindtægter men samtidig store tab under finansielle kriser, hvor likviditeten er blevet drænet. Omvendt har Japan haft renter tæt på nul og lav vækst. I modsætning til AUD har globale recessioner og økonomiske chok historisk styrket den japanske yen.

Attituden omkring de åbenlyse carryvalutaer har ændret sig, efter at økonomiske kriser har givet forskydninger i renteforholdet mellem valutaer. Den europæiske gældskrise har skubbet renterne under nul i Europa, og renteforskellene er blevet mindre, hvilket medfører, at risikopræmien ved at holde valutaer med høje renter er blevet formindsket. USD har i nyere tid overraskende haft det højeste renteniveau (blandt G10-valutaer), hvilket har forvirret tilhængere af carry, da det modsatte førhen har været tilfældet. Omvendt mener flere investorer, at volatiliteten i FX-markedet nu også er mindre, hvilket kan være med til at udligne den negative effekt i afkast-risiko-forholdet (AQR Capital Management, 2019, s. 1). Lav volatilitet kan være en fordel i carrystrategier, da det bliver mindre sandsynligt, at valutaer med høje renter svækkes nok til at udligne gevinsten ved renteforskellen. Med andre ord bliver det mere sandsynligt, at den udækkede renteparitet ikke holder. Dette understøttes af resultatet

fra Brunnermeier et al. (2008), som finder, at carrystrategier oplever tab, når VIX-niveauet er højt, og TED-spændene er brede.

4.4 Value

En valuestrategi i FX-markedet involverer køb (salg) af valutaer, der er undervurderede (overvurderede) relativt til deres fundamentale værdi. Bestemmelse af en valutas fundamentale værdi er derfor relevant for den internationale investor, der ønsker at implementere en valuestrategi. En af de mest anvendte værktøjer til bestemmelse af en valutas fundamentale værdi er købekraftspariteten (PPP), som blev specificeret i afsnit 3.2. Generelt skelner man mellem to metoder til bestemmelse af en valutas fundamentale værdi: den økonomiske metode og den historiske metode. Førstnævnte metode anvender teoretiske modeller til at bestemme det langsigtede ligevægtsniveau for valutakursen. Den historiske metode bestemmer den fundamentale værdi ved at beregne et langsigtet gennemsnit af spotkurserne. Den økonomiske metode er ofte foretrukket grundet udbredelsen af de økonomiske modeller. Et eksempel på en økonomisk model, der er testet og valideret i litteraturen, er PPP. Derfor anses valuestrategien for at være mere modelbaseret sammenlignet med eksempelvis carrystrategien. Det skyldes også, at man skal vælge en bekvem parametrisering af modellen med den økonomiske metode. Metoden kræver både et valg af 1) teoretisk valutamodel, 2) estimationsmetode til bestemmelse af de økonomiske parametre og 3) mængde af data (Amundi Asset Management, 2019, s. 26). Når valutaens fundamentale værdi og nuværende værdi er defineret, kan valuemålet af valuta i til tidspunkt t beregnes ved:

$$V_{i,t} = \frac{\widehat{S_{i,t}} - S_{i,t}}{S_{i,t}}$$

hvor $\widehat{S_{i,t}}$ er den fundamentale værdi af valuta i til tid t, og $S_{i,t}$ er den nuværende pris på valuta i til tidspunkt t. Hvis $V_{i,t}$ er positiv, indebærer det, at valutaen er undervurderet, og omvendt hvis $V_{i,t}$ er negativ, er valutaen overvurderet. Valuestrategien tager da lange positioner i valutaer, der er undervurderede og korte positioner i de valutaer, som er overvurderede. Den underliggende antagelse er, at valutakursen nærmer sig sit langsigtede ligevægtniveau, som kan defineres ved købekraftspariteten.

I den eksisterende litteratur er der fortsat diskussion om valg af metode til bestemmelse af den fundamentale værdi af både valutaer, aktier og andre aktiver. I aktiemarkedet går litteraturen tilbage til Fama & French (1992, 1996) og Lakonishok et al. (1994), som sammenligner afkastet mellem value- og vækstaktier. De viser, at valueaktier generelt har højere afkast end vækstaktier på tværs af alle markeder over perioden 1975-1995. Helt konkret klassificerer de virksomheder med høje værdier af book-to-market equity (B/M), earnings to price (E/P) og cash flow to price (C/P) som valueaktier og virksomheder med lave værdier af B/M, E/P og C/P som vækstaktier. De viser, at der eksisterer en valuepræmie for aktieafkastet i det amerikanske aktiemarked. Lakonishok et al. (1994) argumenterer for, at valuepræmien for aktieafkastet opstår, fordi markedet undervurderer valueaktier og overvurderer vækstaktier. Når de korrigerer for prisfejlen, finder de, at valueaktier genererer højere afkast sammenlignet med vækstaktier.

I valutamarkedet har fokus været på prædiktion af valutakurser. Bilson (1984) undersøger, om købekraftspariteten kan anvendes til prædiktion af valutakurser. Bilsons idé var at implementere en valuestrategi baseret på afvigelser i valutakursen fra dens ligevægtsniveau i tilfældet, hvor købekraftspariteten holder. Bilson viser, at strategien er profitabel, og at det gennemsnitlige risikojusterede afkast er bedre end afkastet i S&P 500 over samme periode. Cheung et al. (2005) sammenligner fem forskellige modeller med en random walk og viser, at PPP-modellen er den bedste prædiktor til valutakurser over længere tidsperioder. Dog viser Cheung et al., at modellens anvendelighed er valutaspecifik og dermed ikke er optimal for alle valutaer.

Den PPP-baserede valuestrategi er eftervist af investeringsbanker som Deutsche Bank (2009) og Amundi Asset Management (2019) m.fl. Deutsche Bank implementerer en valuestrategi baseret på OECD PPP-data for et begrænset valutaunivers bestående af G10-valutaer. De viser, at en systematisk strategi med køb og salg af de tre mest under- og overvurderede valutaer og rebalancering hver tredje måned er profitabel på mellemlang sigt. Strategien bygger på teorien om, at valutaer nærmer sig deres fundamentale værdi på lang sigt. De anvender PPP til at bestemme valutaers fundamentale værdi, da flere empiriske artikler (Taylor & McMahon (1988), Abuaf & Jorion (1990), Froot & Rogoff (1995), Coakley & Snaith (2004)) har vist, at PPP holder på lang sigt. De opnår et annualiseret merafkast og volatilitetsniveau på hhv. 3,32% og 9,33% over perioden 1989-2009, hvilket giver en Sharpe ratio på 0,36. Valuestrategien outperformer deres carrystrategi over finanskrisen.

Schindler et al. (2013) kombinerer carry-, momentum- og valuestrategier på baggrund af to datasæt: 1) et datasæt bestående af de 24 mest handlede valutaer og 2) et datasæt bestående G10-valutaer. De beregner valutaernes fundamentale værdi ved hjælp af PPP. De rebalancerer positionerne månedligt og regner afkast med og uden justeringer for bid-ask spreads. Når transaktionsomkostninger inkluderes, falder Sharpe ratio for både carry, momentum og value med hhv. 0,07, 0,21 og 0,05. Carrystrategien producerer højere afkast end momentum og value men udviser samtidig også en større negativ skævhed i afkastfordelingen. Deres tilgang til transaktionsomkostninger er konservativ, da de benytter kvoterede bid-ask spreads, som har tendens til at være større end de effektive spreads (se bl.a. Lyons (2001)). Raza (2015) sammenligner fire metoder til bestemmelse af 39 valutaers fundamentale værdi over perioden 1972-2013. Han undersøger den reale valutakurs, den 5-årige akkumulerede ændring i den reale valutakurs, købekraftspariteten (PPP) og Big Mac-indekset. De fire strategier genererer alle meningsfulde merafkast med lav turnover, høje breakeven-omkostninger og afkastfordelinger med positiv skævhed.

Amundi Asset Management (2019) introducerer fire modeller til bestemmelse af valutaers fundamentale værdi inkl. købekraftspariteten. De anvender et datasæt over perioden fra 2000-2019 bestående af G10-, G25- og EM-valutaer og viser, at en kombineret ligevægtet portefølje bestående af alle fire valuestrategier producerer et højere risikojusteret merafkast sammenlignet med de individuelle strategier. Resultatet skyldes diversifikationseffekten som følge af lave korrelationer mellem valuestrategierne. Amundi AM implementerer dernæst en carry- og momentumstrategi og viser, at value er den risikofaktor, som hyppigst skifter fortegn. Resultatet skyldes, at valutaer ikke er systematisk under- eller overvurderede over tid.

Kapitalforvalteren Nomura (2019) viser, at valutaer vender tilbage til deres langsigtede ligevægtsniveau. Deres valuestrategi performer bedst, når markedsvolatiliteten er aftagende. Nomura baserer deres valuestrategi på en dynamisk allokeringsregel, hvor positionen i valuestrategien øges (reduceres), når den forventede volatilitet falder (stiger). Den dynamiske allokeringsmodel producerer et højere merafkast sammenlignet med en statisk allokeringsvægt målt på G10-valutaer for en EUR-baseret investor over perioden 1974-2019.

5 Porteføljekonstruktion

Generel porteføljeteori om investorens optimale porteføljevalg antager, at investorer handler rationelt og derfor forsøger at optimere middelværdi-varians-forholdet ved at tage positioner i en kombination af risikofrie og risikofyldte aktiver. Investorens klassiske porteføljevalg baseres på at optimere porteføljens merafkast og samtidig minimere variansen på porteføljens merafkast i såkaldte minimum-varians-porteføljer. Akademisk litteratur har i stort omfang udvidet denne klassiske middelværdi-varians-optimering (MVO) af porteføljer efter Markowitz (1952). Johnson (1960) og Stein (1961) var de første til at udlede en middelværdi-varians-portefølje til brug af optimale hedgingpositioner med udgangspunkt i råvaremarkedet. Idéen om at anvende den generelle middelværdi-varians-portefølje til valg af optimal hedging af valutarisiko blev senere udviklet af Anderson & Danthine (1981). De formulerede en teoretisk beskrivelse af beslutningsregler, hvor en optimal hedgeposition i valutaer kunne ses som værende summen af henholdsvis en risikominimerende og en spekulativ position. En vigtig antagelse i deres model er, at aktivpriserne observeres på samme tidspunkt som hedgingbeslutningen foretages, hvorfor alle ændringer i aktivpriserne antages at ske på f.eks. månedlig basis, mens alle mellemliggende observationer ignoreres. Glen & Jorion (1993), Ang & Bekaert (2002), De Roon et al. (2003), Campbell et al. (2010), Schmittmann (2010), Opie & Dark (2015) m.fl. udforsker alle optimale hedgingstrategier med udgangspunkt i teorien udviklet af Anderson & Danthine (1981).

Glen & Jorion (1993) undersøger fordelene ved hedging af valutarisiko ved både spekulative og variansminimerende investorpræferencer. De betragter en middelværdi-varians-model, hvor positionerne i aktier, obligationer og forwards er ubegrænsede og vælges simultant. De finder, at hedging af valutarisiko bidrager til afkastet i både aktie- og obligationsporteføljer. Samtidig finder de, at afkast- og risikomål i optimale porteføljer forbedres ved at inkludere valutaeksponeringer. En begrænsning i modellen er, at de optimale porteføljer tager ekstreme korte og lange positioner, hvilket typisk ikke er muligt at implementere for en investor i praksis. En begrænsning på de korte positioner viser imidlertid, at hedging fortsat forbedrer porteføljeafkastet på trods af, at begrænsningen er bindende i den optimale løsning.

Ang & Bekaert (2002) udfordrer argumentet om, at afkast fra internationale aktieeksponeringer har større indbyrdes korrelationer i bearmarkeder end under bullmarkeder, og at investorer derfor vil have et "home bias". De undersøger påstanden om asymmetri mellem korrelationerne i internationale porteføljer ved at introducere en dynamisk model med optimale porteføljevalg baseret på tidsvarierende korrelationer og volatilitetsniveauer. Modellen illustrerer fordelene ved at hedge valutarisiko i aktieporteføljer i tilstedeværelsen af regimeskift. De finder, at investorer altid kompenseres for at påtage sig valutarisiko, og at effektiv hedging øger fordelene ved international diversifikation med mere end 50%. Samtidig er de økonomiske omkostninger ved ikke at anvende hedging af valutarisiko og ved ikke at diversificere internationalt større.

De Roon et al. (2003) undersøger effekten af hedging af valutarisiko i internationale aktieporteføljer for investorer med forskellige præferencer for valg af nyttefunktion og grad af risikoaversion. De finder,

at en investor med middelværdi-varians-optimerende præferencer generelt ikke leder til signifikante forbedringer af afkastet ved statisk hedging medmindre, at investoren har en høj grad af risikoaversion. Derimod forbedres porteføljens afkast for alle kombinationer af nyttefunktioner og risikopræferencer ved dynamisk hedging både i stikprøven og uden for stikprøven. Resultaterne er konsistente med Glen & Jorion (1993) og Ang & Bekaert (2002).

Campbell et al. (2010) anvender en middelværdi-varians-optimering til at finde korte og lange valutapositioner til at minimere den samlede risiko i aktieporteføljen baseret på korrelationer mellem aktie- og valutaafkast. De finder, at flere valutaer er systematisk positivt korrelerede med de globale aktiemarkeder, hvilket indebærer, at internationale aktieinvestorer kan minimere aktievolatiliteten ved at tage korte positioner i disse valutaer. Den optimale hedgeportefølje reducerer aktievolatiliteten med 135 bp sammenlignet med en fuldt hedged aktieportefølje, mens volatiliteten reduceres med 250 bp sammenlignet med en uafdækket aktieportefølje målt over perioden 1975-2005 for en USD-baseret investor.

Schmittman (2010) viser empirisk evidens for, at hedging af valutarisiko afhænger af investorens indenlandske valuta. Samtidig viser han, at variansoptimeringen besværliggøres for aktieinvestorer, da kovariansstrukturen mellem aktier og de underliggende valutapositioner bidrager mere til den samlede udenlandske investeringsrisiko sammenlignet med resultaterne for obligationsinvestorer. Schmittman finder, at valutaeksponering generelt har en positiv effekt på afkastet i en aktieportefølje. Investorer med lavrentevalutaer som indenlandsk valuta kan drage fordele af at beholde valutaeksponeringen ved udenlandske investeringer grundet afvigelser fra den udækkede renteparitet (carry). Sidst finder han, at investeringshorisonten ikke har betydning for effektiviteten af hedging af valutarisiko. Opie & Dark (2015) undersøger også implikationerne ved at ændre den indenlandske valuta og analyserer det marginale bidrag fra forskellige valutaer i en samlet hedgeportefølje med currency overlay strategier. De identificerer AUD og CAD som de mest effektive valutaer til at reducere risiko i en aktieportefølje.

Christensen & Varneskov (2016) foreslår en udvidelse af MVO baseret på en model med dynamiske hedgingstrategier, som kun afhænger af de historiske kvadratiske kovariansmatricer mellem valutaer og aktier. Hedgingstrategierne producerer betydeligt lavere volatilitet uden at reducere afkastene. Modellen beskrives som et alternativ til traditionelle valutastrategier som momentum, carry og value og står i kontrast til tidligere modeller, som antager, at aktivpriserne observeres på samme tidspunkt, som rebalanceringen finder sted. Opie & Riddiough (2019) tilføjer en dynamisk faktormodel til middelværdi-varians-optimeringen ved at udnytte globale risikofaktorer til at forudsige valutaafkast.

Senest har Boudoukh et al. (2019) fra den amerikanske hedgefond AQR Capital Management introduceret en artikel i Financial Analysts Journal d. 26. august 2019, hvor de dekomponerer den generelle middelværdi-varians-portefølje i tre dele: 1) en 100% hedged aktiekomponent, 2) en valutaportefølje, der har til formål at reducere aktievolatiliteten ved at udnytte kovariansstrukturen i valuta- og aktiemerafkastene og 3) en valutaportefølje, som skal sikre høje risikojusterede merafkast ved hjælp af en selvvalgt multifaktorportefølje. Denne kombinerede portefølje danner ramme for, hvad de definerer som en *modified portfolio mean-variance optimization* (MPMVO).

5.1 MPMVO

I dette afsnit giver vi et overblik over MPMVO-modellen. Vi udleder den modificerede middelværdi-varians-portefølje og forklarer porteføljens enkelte delkomponenter. Disse delkomponenter giver investorerne værktøjer til at tackle de foreslåede udfordringer forbundet med optimal hedging af valutarisiko i internationale aktieporteføljer ved klassisk middelværdi-varians-optimering (MVO).

Betragt en EUR-baseret investor med en uafdækket international aktieportefølje, EQU, med afkast på formen:

$$\mathbf{w}_t^\top \mathbf{R}_{t+1}^{\text{EUR}}$$

hvor porteføljevægte og EUR-afkastet er givet ved:

$$\begin{aligned} \mathbf{w}_t^\top &= [w_{1,t}, \ldots, w_{N,t}] \\ \mathbf{R}_{t+1}^{\text{EUR}} &= [R_{1,t+1}^{\text{EUR}}, \ldots, R_{N,t+1}^{\text{EUR}}] \end{aligned}$$

EUR-investoren har nu en valutaeksponering i sin portefølje, som implicit medfører en beslutning om hedging eller ej. Den samlede position kan ses som værende ækvivalent med en eksponering som lokal investor samt en eksponering mod valutarisiko ved at holde udenlandske aktiver. Porteføljens forventede afkast kan da dekomponeres i afkastene fra to separate porteføljer EQ og FX:

$$\mathbb{E}_t[\mathbf{R}_{pt+1}^{\text{EUR}}] = \mathbf{w}^\top \mathbb{E}_t[\mathbf{R}_{t+1}^{\text{EUR}}] \approx \mathbf{w}_t^\top \mathbb{E}_t[\mathbf{R}_{t+1}^*] + \mathbf{w}_t^\top \mathbb{E}_t[\mathbf{R}_{t+1}^{\text{FX}}]$$

hvor $R_{t+1}^* = [R_{1,t+1}^*, \ldots, R_{N,t+1}^*]$ er det forventede aktieafkast i de udenlandske valutaer, og $R_{t+1}^{\text{FX}} = [R_{1,t+1}^*, \ldots, R_{N,t+1}^{\text{FX}}]$ er det forventede valutaafkast. EUR-investoren har således en portefølje, EQ, bestående af 100% hedgede internationale aktier med afkast $w_t^\top R_{t+1}^*$ og en valutaportefølje bestående af den tilhørende valutafordeling, FX, med et afkast $w_t^\top R_{t+1}^{FX}$, så:

$$\begin{aligned} \text{EQU} &= (\text{EQU} - \text{FX}) + \text{FX} \\ \text{EQU} &= \text{EQ} + \text{FX} \end{aligned} \tag{5.1}$$

Den samlede valutaeksponering kan da hedges ved at gå kort i den udenlandske korte rente R_{ft}^{FX} mod at låne i den indenlandske EUR-rente R_{ft}^{EUR}, hvorved EQ-afkastet opnås. Det er her fristende at se hedging af valutaeksponeringen som en mulig afkastforstærker i aktieporteføljen. En hedgingbeslutning kan imidlertid både have positiv eller negativ indflydelse afhængig af retningen af valutaudsvingene. Første indskydelse siger, at hedging af valutaeksponeringen giver lavere volatilitet. Denne idé overser dog, at sammenspillet mellem aktie- og valutaafkastene også driver volatiliteten. En hedged position kan fjerne tab, når valutaen bevæger sig i den forkerte retning, men også reducere gevinsten, hvis valutaen bevæger sig i den rigtige retning. Man kan derfor sagtens se perioder, hvor hedging faktisk øger risikoen. Ved at hedge fjerner man samtidig aktiver (i dette tilfælde valuta), som kan bidrage til diversifikationseffekten. Man fjerner diversifikationseffekten og kan dermed få et mere volatilt aktiv sammenlignet med en uafdækket position. EQ-porteføljen har således pr. konstruktion ingen valuta-

eksponering men ikke nødvendigvis den laveste volatilitet.

Alternativt kan investoren vælge at fastholde sin valutaeksponering i tillæg til den hedgede aktiekomponent ved at vælge en kombination af valutavægte, $\mathbf{w}_s$, til at danne en portefølje med afkast:

$$R_P = R^{\mathrm{EQ}} + \mathbf{w}_s^\top \mathbf{R}^{\mathrm{FX}}$$

hvor R^{EQ} er afkastet på den hedgede aktieportefølje, og hvor det antages, at $\mathbf{w}_s$ vælges således, at det forventede afkast, $E[R_p]$, maksimeres for et givent volatilitetsniveau. Maksimeringsproblemet kan da skrives ved:

$$\max_{\{\mathbf{w}_s\}} \mu_P = \mu_{\mathrm{EQ}} + \mathbf{w}_s^\top \boldsymbol{\mu}_{\mathrm{FX}} \tag{5.2}$$

under bibetingelse

$$\mathbf{w}_s^\top \boldsymbol{\Sigma}_{\mathrm{FX}} \mathbf{w}_s + \sigma_{\mathrm{EQ}}^2 + 2\mathbf{w}_s^\top \boldsymbol{\Sigma}_{\mathrm{EQFX}} = \sigma_P^2 \tag{5.3}$$

hvor $\boldsymbol{\mu}_{FX}$ er en N x 1 vektor bestående af de forventede merafkast på de N valutaer, $\boldsymbol{\Sigma}_{\mathrm{FX}}$ er en N x N kovariansmatrix for valutamerafkastene, σ_{EQ} er volatiliteten på de hedgede aktieafkast og $\boldsymbol{\Sigma}_{\mathrm{EQFX}}$ er en N x 1 kovariansvektor mellem EQ-afkastet og FX-afkastene, hhv. r_{EQ} og r_{FX}. Det optimale valg af porteføljevægte placerer porteføljen på den efficiente rand i et klassisk minimum-varians-setup med et risikofrit aktiv.

Løses maksimeringsproblemet 5.2 ved at anvende førsteordensbetingelsen fås:

$$\begin{aligned} \boldsymbol{\mu}_{\mathrm{FX}} - 2\lambda\big(\mathbf{w}_s^\top \boldsymbol{\Sigma}_{\mathrm{FX}} + \boldsymbol{\Sigma}_{\mathrm{EQFX}}\big) &= 0 \\ \Rightarrow \mathbf{w}_s^* &= \frac{\boldsymbol{\Sigma}_{\mathrm{FX}}^{-1}\boldsymbol{\mu}_{\mathrm{FX}}}{2\lambda} - \boldsymbol{\Sigma}_{\mathrm{FX}}^{-1}\Sigma_{\mathrm{EQFX}} \end{aligned}$$

Indsættes $\mathbf{w}_s^*$ i bibetingelsen 5.3 fås ved substitution af λ den optimale valutavægt:

$$\mathbf{w}_s^* = \boldsymbol{\Sigma}_{\mathrm{FX}}^{-1}\Big(\underbrace{-\boldsymbol{\Sigma}_{\mathrm{EQFX}}}_{\mathrm{w_{hedge}}} + k\underbrace{\boldsymbol{\mu}_{\mathrm{FX}}}_{\mathrm{w_{alpha}}}\Big)$$

hvor k er givet ved:

$$\begin{aligned} k &= \sqrt{\frac{\sigma_P^2 - \big(\sigma_{\mathrm{EQ}}^2 - \boldsymbol{\Sigma}_{\mathrm{EQFX}}^\top \boldsymbol{\Sigma}_{\mathrm{FX}}^{-1}\boldsymbol{\Sigma}_{\mathrm{EQFX}}\big)}{\boldsymbol{\mu}_{\mathrm{FX}}^\top \boldsymbol{\Sigma}_{\mathrm{FX}}^{-1}\boldsymbol{\mu}_{\mathrm{FX}}}} \\ &= \sqrt{\frac{\sigma_P^2 - \sigma_{\mathrm{MINVAR}}^2}{\boldsymbol{\mu}_{\mathrm{FX}}^\top \boldsymbol{\Sigma}_{\mathrm{FX}}^{-1}\boldsymbol{\mu}_{\mathrm{FX}}}} \end{aligned}$$

Det optimale valg af k vælges, så Sharpe ratio givet på formen:

$$\begin{aligned}
\mu_P &= \mu_{\text{EQ}} - \boldsymbol{\mu}_{\text{FX}}^\top \boldsymbol{\Sigma}_{\text{FX}}^{-1} \boldsymbol{\Sigma}_{\text{EQFX}} + k \boldsymbol{\mu}_{\text{FX}}^\top \boldsymbol{\Sigma}_{\text{FX}}^{-1} \boldsymbol{\mu}_{\text{FX}} \\
\sigma_P^2 &= \sigma_{\text{EQ}}^2 - \boldsymbol{\Sigma}_{\text{EQFX}}^\top \boldsymbol{\Sigma}_{\text{FX}}^{-1} \boldsymbol{\Sigma}_{\text{EQFX}} + k^2 \boldsymbol{\mu}_{\text{FX}}^\top \boldsymbol{\Sigma}_{\text{FX}}^{-1} \boldsymbol{\mu}_{\text{FX}} \\
\Rightarrow \frac{\mu_P}{\sigma_P} &= \frac{\mu_{\text{MINVAR}} + k \boldsymbol{\mu}_{\text{FX}}^\top \boldsymbol{\Sigma}_{\text{FX}}^{-1} \boldsymbol{\mu}_{\text{FX}}}{\big(\sigma_{\text{MINVAR}}^2 + k^2 \underbrace{\boldsymbol{\mu}_{\text{FX}}^\top \boldsymbol{\Sigma}_{\text{FX}}^{-1} \boldsymbol{\mu}_{\text{FX}}}_{\text{basis M}}\big)^{1/2}}
\end{aligned}$$

maksimeres for alle middelværdi-varians-efficiente porteføljer, så vi får førsteordensbetingelsen ved:

$$\big(\sigma_{\text{MINVAR}}^2 + k^2 M\big)^{1/2} M - \big(\mu_{\text{MINVAR}} + kM\big) \frac{\big(\sigma_{\text{MINVAR}}^2 + k^2 M\big)^{-1/2} kM}{\sigma_{\text{MINVAR}}^2 + k^2 M} = 0$$

som medfører, at det optimale k kan skrives ved:

$$k^* = \frac{\sigma_{\text{MINVAR}}^2}{\mu_{\text{MINVAR}}} \tag{5.4}$$

Den optimale portefølje er nu dekomponeret i henholdsvis to separate valutaporteføljer: en variansminimerende valutaportefølje, FXHEDGE, med vægte $\mathbf{w}_{\text{hedge}}$ samt en Sharpe ratio-maksimerende valutaportefølje, FXALPHA, med vægte $\mathbf{w}_{\text{alpha}}$. Kombineres FXHEDGE-porteføljen med vægtene $\mathbf{w}_{\text{hedge}} = -\boldsymbol{\Sigma}_{\text{FX}}^{-1} \boldsymbol{\Sigma}_{\text{EQFX}}$ og den hedgede aktieportefølje EQ fås minimum-varians-porteføljen, MINVAR, ved $k = 0$:

$$\text{MINVAR} = \text{EQ} + \text{FXHEDGE} \tag{5.5}$$

med middelværdi- og kovariansstruktur på formen:

$$\begin{aligned}
\mu_{\text{MINVAR}} &= \mu_{\text{EQ}} - \boldsymbol{\mu}_{\text{FX}}^\top \boldsymbol{\Sigma}_{\text{FX}}^{-1} \boldsymbol{\Sigma}_{\text{EQFX}} \\
\sigma_{\text{MINVAR}}^2 &= \sigma_{\text{EQ}}^2 - \boldsymbol{\Sigma}_{\text{EQFX}}^\top \boldsymbol{\Sigma}_{\text{FX}}^{-1} \boldsymbol{\Sigma}_{\text{EQFX}} \\
\text{cov}(\mathbf{w}_s^\top \mathbf{R}_{FX}, \text{MINVAR}) &= \mathbf{w}_s^\top \boldsymbol{\Sigma}_{\text{EQFX}} - \mathbf{w}_s^\top \boldsymbol{\Sigma}_{\text{FX}} \boldsymbol{\Sigma}_{\text{FX}}^{-1} \boldsymbol{\Sigma}_{\text{EQFX}} = 0
\end{aligned}$$

Bemærk, at MINVAR-porteføljen er ukorreleret med enhver valutaportefølje, hvorfor valget af FXALPHA er uafhængigt af MINVAR. FXALPHA-porteføljen er per konstruktion en Sharpe ratio-maksimerende valutaportefølje med en optimal middelværdi-varians-struktur og vægte $\boldsymbol{\Sigma}_{\text{FX}}^{-1} \boldsymbol{\mu}_{\text{FX}}$. Vi kan udnytte, at MINVAR-porteføljen er ukorreleret med enhver valutaportefølje og skrive:

$$\text{cov}(\text{FX}, \text{EQ}) = -\text{cov}(\text{FX, FXHEDGE}) \qquad \forall\ \text{FX}$$

Erstattes FX med vores variansminimerende valutaportefølje, kan vi skrive:

$$\begin{aligned}
\text{cov}(\text{FXHEDGE, EQ}) &= -\sigma_{\text{FXHEDGE}}^2 \\
\Rightarrow \sigma_{\text{FXHEDGE}} &= -\rho_{\text{FXHEDGE,EQ}}\, \sigma_{\text{EQ}}
\end{aligned}$$

Erstattes FX med vores Sharpe ratio-maksimerende valutaportefølje, kan vi skrive:

$$\rho_{\text{FXALPHA, EQ}} = \rho_{\text{FXHEDGE,EQ}}\, \rho_{\text{FXHEDGE,FXALPHA}}$$

Givet en middelværdi- og variansstruktur på $\boldsymbol{\mu}_{\text{FX}}^{\top}\boldsymbol{\Sigma}_{\text{FX}}^{-1}\boldsymbol{\mu}_{\text{FX}}$ kan vi skrive Sharpe ratio for FXALPHA ved:

$$\text{SR}_{\text{FXALPHA}} = \sqrt{\boldsymbol{\mu}_{\text{FX}}^{\top}\boldsymbol{\Sigma}_{\text{FX}}^{-1}\boldsymbol{\mu}_{\text{FX}}} = \sigma_{\text{FXALPHA}}$$

Samtidig kan vi skrive det forventede afkast for FXHEDGE ved:

$$\begin{aligned}\mu_{\text{FXHEDGE}} &= \frac{\text{cov(FXHEDGE, FXALPHA)}}{\sigma^2_{\text{FXALPHA}}}\mu_{\text{FXALPHA}} \\ &= \sigma_{\text{FXHEDGE}}\, \rho_{\text{FXHEDGE,FXALPHA}}\, \text{SR}_{\text{FXALPHA}}\end{aligned}$$

Indsættes ovenstående i udtrykket for k^* i ligning (5.4) fås:

$$k^* = \sigma_{\text{EQ}}\left(\frac{1-\rho^2_{\text{FXHEDGE,EQ}}}{\text{SR}_{\text{EQ}} - \rho_{\text{FXALPHA,EQ}}\,\text{SR}_{\text{FXALPHA}}}\right)$$

Kombinerer vi nu FXHEDGE, den relative vægt k^* og FXALPHA fås en samlet valutaportefølje, som maksimerer valutaafkastet:

$$\begin{aligned}R_P &= R_{\text{EQ}} + \mathbf{w}_s^{*\top}\mathbf{R}_{\text{FX}} \\ \mathbf{w}_s^* &= \mathbf{w}_{\text{hedge}} + k^*\,\mathbf{w}_{\text{alpha}}\end{aligned}$$

Den samlede optimale portefølje, den modificerede middelværdi-varians portefølje (MPMVO-porteføljen), består da af den hedgede aktiekomponent og den optimale valutaportefølje:

$$\text{MPMVO} = \text{EQ} + \text{FXHEDGE} + k^*\,\text{FXALPHA} \tag{5.6}$$

hvis afkast kan skrives ved:

$$R_{\text{MPMVO}} = R_{\text{EQ}} + (\mathbf{w}_{\text{hedge}} + k^*\mathbf{w}_{\text{alpha}})\mathbf{R}_{\text{FX}} \tag{5.7}$$

Boudoukh et al. (2019) foreslår to metoder til beregning af vægtene i FXHEDGE-porteføljen: 1) *Robust* eller 2) *Optimized* tilgang. Den første tilgang anvender få parametre til at fange dynamikken i porteføljen, mens den sidste tilgang estimerer alle parametre. Vi beregner vægtene ved brug af begge metoder og evaluerer de separate resultater i afsnit 6.2. Den robuste metode kræver blot ét estimat for volatiliteten og korrelationen og beregner estimater baseret på den samlede pulje af de markedsvægtede valutaer. Dette resulterer i, at investoren vælger en fast hedgeposition for de separate tidsperioder

mellem rebalanceringer i alle de anvendte valutaer:

$$\mathbf{w}_{\text{hedge}} = -\underbrace{\rho_{\text{EQ,FX}}\left(\sigma_{\text{EQ}}/\sigma_{\text{FX}}\right)}_{\text{hedge ratio, h}} \text{FX} \tag{5.8}$$

Den optimerede metode anvender en mere sofistikeret tilgang, da den involverer alle korrelationer og variansegenskaber i den anvendte valutapulje:

$$\mathbf{w}_{\text{hedge}} = -\mathbf{\Sigma}_{\text{FX}}^{-1}\mathbf{\Sigma}_{\text{EQFX}} \tag{5.9}$$

Problemet er utvivlsomt den lille stikprøve og for et antal parametre større end antal observationer $n << p$, kan vi ikke betragte den empiriske kovariansmatrix som en god approksimation. Det er samtidig et velkendt resultat, at maximum likelihood estimatorer ikke er effektive i små stikprøver. Af denne grund estimerer vi kovariansmatricerne ved brug af dynamiske estimater med tilhørende *correlation shrinkage*. Vi foreslår en alternativ estimationsmetode sammenlignet med Boudoukh et al (2019), som anvender en correlation shrinkage på 0,25. Vi benytter i stedet en dynamisk kovariansmatrix estimeret ved hjælp af en analytisk formel for den optimale shrinkage intensitet udviklet af Schafer & Strimmer (2005) og Opgen-Rhein & Strimmer (2006). De foreslår, at estimatet for kovariansmatricen kan forbedres ved at anvende en intensitet for correlation shrinkage på formen:

$$\hat{\lambda}^* = \frac{\sum_{i \neq j} \widehat{\text{Var}}(r_{ij})}{\sum_{i \neq j} r_{ij}^2} \tag{5.10}$$

hvor r_{ij} er de empiriske korrelationskoefficienter. Anvendelse af den dynamiske kovariansmatrix er nødvendigt, da vi opererer i små stikprøver, og matricerne vil udvise singularitet med determinanter approksimativt lig nul og dermed ingen mulighed for invertering. Den simple justering af intensiteten for correlation shrinkage udviklet af Opgen-Rhein & Strimmer har her et ønskeligt resultat — vi producerer automatisk en positiv definit matrix med fuld rang og ikke-negative varianser, hvilket tillader, at vores kovariansmatricer nemt kan inverteres i beregningen af de tidsvarierende hedgepositioner.

Den modificerede middelværdi-varians-portefølje, MPMVO, adskiller sig fra den klassiske middelværdi-varians-optimering, idet implementeringen tillader mere gennemsigtighed og fleksibilitet. Dekomponeringen i en variansminimerende komponent, FXHEDGE, og en Sharpe ratio-maksimerende komponent, FXALPHA, giver klarhed om valget af valutavægte i optimeringen. Investorer får direkte mulighed for at identificere, om valutapositionerne skyldes 1) hedging- eller 2) alphaoptimering. Denne indsigt bidrager til forståelsen af den samlede porteføljes eksponering over for de enkelte valutakomponenter. Samtidig har delkomponenterne veldefinerede målsætninger, og investorer har da mulighed for selv at tilpasse komponenterne til egne behov og kapacitetsbegrænsninger. MPMVO-modellen giver samtidig mulighed for at estimere parametre ved forskellige metoder. Fleksibiliteten i kalibreringen af modellen giver mulighed for at tilføje investorspecifikke præferencer med begrænsninger af forskellige risikomål såsom gearing, turnover, skævhed og volatilitet.

6 Resultater

6.1 Empiriske egenskaber

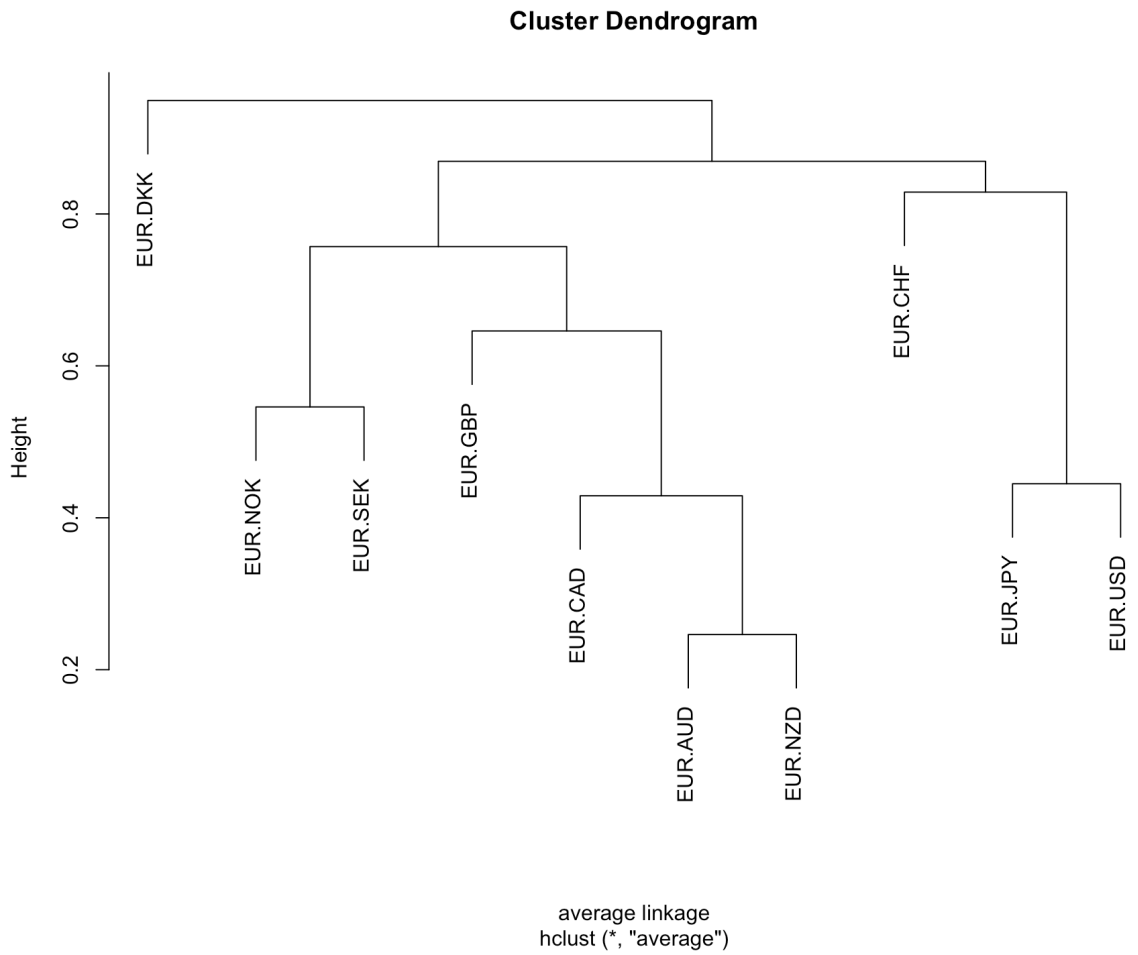
I dette kapitel præsenterer vi indledende egenskaber for valutamerafkast, som skal bidrage til forståelsen af variationen mellem valutaer. Tabel 4 viser annualiseret middelværdi og volatilitet for valutamerafkastene og merafkast for den hedgede aktieportefølje, EQ, over perioden 2002-2019. Tabellen giver også en oversigt over minimum og maksimum korrelationer mellem valutaer samt korrelationer med det internationale hedgede aktieindeks. Disse korrelationer giver os en indledende idé om, hvordan valutaerne er forbundet med hinanden.

Valuta	Middelværdi	Volatilitet	Min FX korr	Max FX korr	EQ korr
AUD	3,64	10,75	0,01 (JPY)	0,75 (NZD)	0,50
DKK	0,21	0,30	0,01 (NZD)	0,09 (CHF)	-0,02
CAD	0,89	9,40	0,04 (CHF)	0,62 (AUD)	0,33
JPY	-0,92	11,37	-0,06 (SEK)	0,56 (USD)	-0,40
NOK	0,20	7,27	0,005 (JPY)	0,45 (SEK)	0,28
NZD	4,59	10,98	0,01 (DKK)	0,75 (AUD)	0,38
SEK	-0,19	6,44	-0,06 (JPY)	0,45 (NOK)	0,34
CHF	1,10	9,82	0,006 (SEK)	0,22 (JPY)	-0,15
GBP	-0,56	8,21	0,05 (DKK)	0,44 (USD)	0,10
USD	-0,47	9,42	-0,002 (SEK)	0,56 (JPY)	-0,12
EQ	5,12	15,76	-0,40 (JPY)	0,50 (AUD)	1,00

Tabel 4: Deskriptiv statistik af valutamerafkast og merafkast af den hedgede aktieportefølje, EQ. Denne tabel beskriver annualiseret middelværdi, volatilitet, hhv. min. og max. korrelationer blandt valutamerafkast samt korrelationer mellem valutamerafkast og merafkast for den hedgede internationale aktieportefølje, EQ. Stikprøven er perioden fra d. 2. januar 2002 til d. 31. december 2019, og alle udregninger er baseret på ugentlig data.

Det ses af tabellen, at variationen i korrelationerne generelt er høj og spænder over intervallet fra -0,40 til 0,75. Flere korrelationer skiller sig heriblandt ud. AUD udviser en korrelation på 75% med NZD, hvilket reflekterer afhængigheden mellem økonomierne i Oceanien. Samme resultater fås for korrelationerne blandt de europæiske økonomier med NOK, SEK, DKK og CHF. Korrelationen på 56% mellem USD og JPY afspejler ingen umiddelbar form for kausalitet men angiveligt de to økonomiers afhængighed, særligt fordi valutaerne er blandt de mest likvide reservevalutaer. 13,2% af den samlede daglige turnover i det globale FX-marked består af handler i USD/JPY kun overgået af USD/EUR, som udgør 24% af den samlede daglige turnover (BIS, 2019, s. 5). Samtidig har USD og JPY historisk haft en

tæt sammenhæng med amerikanske statsobligationer. Ved rentestigninger er obligationspriserne faldet, som har løftet den amerikanske dollar overfor yen. Australien og New Zealand har valutaer med de højeste realiserede merafkast på hhv. 3,6% og 4,6%, mens japanske yen og sterling (GBP) har produceret de laveste gennemsnitlige merafkast på henholdsvis 0,9% og 0,6%. Vi ser endvidere en tendens til, at valutaer med højere afkast har højere korrelationer med markedet. Mens nogle valutaer er tæt korrelerede med det internationale aktieindeks, såsom AUD og NZD, udviser andre G10-valutaer en negativ korrelation. Økonomiske afmatninger har tendens til at ramme de fleste valutaer hårdt, men når investorerne er bekymrede, vender de sig typisk mod "safe haven"-valutaer såsom JPY, CHF og USD med korrelationer på hhv. -0,4, -0,2 og -0,1 over stikprøveperioden. Bemærk, at valutamerafkastene har en betydelig volatilitet, i gennemsnit 8,4%, hvilket svarer til lidt over halvdelen af volatiliteten i det hedgede aktieindeks (15,76%). Vi ser også, at valutaer med numerisk høje merafkast generelt har høje volatilitetsniveauer.



Figur 1: Dendrogram for valutamerafkast baseret på en klyngeanalyse med average linkage og 1-$|\rho|$ som similaritetsmål. Data genereret ved egen kode.

Vi anvender klyngeanalyse til at identificere similariteter blandt valutaerne. Klyngeanalyse er et spørgsmål om at opdele variable i klynger, da grupper af variable er mere lig hinanden end andre. Vi bruger

klyngeanalyse som et værktøj til at vurdere dimensionerne af vores data og til at identificere outliers. Ved hjælp af en klyngeanalyse identificerer vi af figur 1 tre valutaklynger, der understøtter flere af resultaterne fra tabel 4. Vores klyngeanalyse er baseret på en hierakisk klyngedannelse med $1-|\rho|$ som similaritetsmål og average linkage for gruppering af valutaerne. Den første klynge indeholder AUD, CAD og NZD – fælles for disse valutaer er, at de alle er klassificerede som såkaldte råvarevalutaer grundet landenes store afhængighed af råvareeksport. F.eks. har AUD og CAD generelt en høj korrelation grundet deres økonomiers eksponering mod minedrift. En anden fællesnævner er naturligvis de positive merafkast dokumenteret i tabel 4 samt landenes høje renteniveauer. Den anden klynge omfatter de skandinaviske valutaer NOK og SEK. Det er ingen overraskelse, at similariteten er stor mellem disse. Begge valutaer har traditionelt været konjunkturfølsomme og har begge positive korrelationer med det globale aktieindeks målt over stikprøveperioden. Den tredje klynge indeholder JPY, USD og CHF – det er valutaer, der ofte omtales som "safe-haven"-valutaer. De har en tendens til at være efterspurgte i tider med økonomisk stress og har historisk alle haft lave renteniveauer (USD indtil for nyligt). Vi ser naturligvis, at DKK afviger markant fra de resterende valutaer med en selvstændig klynge grundet Danmarks fastkurspolitik over for euroen.

6.2 Minimum-varians-porteføljen

Med udgangspunkt i MPMVO-modellen i afsnit 5.1 konstruerer vi nu en række minimum-varians-porteføljer ved hjælp af metoder konsistente med Boudoukh et al. (2019). MINVAR-porteføljen er et alternativ til en position i en uafdækket aktieportefølje EQU eller en fuldt hedged aktieportefølje EQ og fungerer som delkomponent i den samlede MPMVO-portefølje. Givet en NxN kovariansmatrix $\mathbf{\Sigma}_{\text{FX}}$ og en Nx1 kovariansvektor mellem valutaerne og det hedgede aktieindeks $\mathbf{\Sigma}_{\text{EQFX}}$, vælger vi en MINVAR-portefølje ved at tilføje en valutaportefølje, FXHEDGE, med vægtene $\boldsymbol{w}_{\text{hedge}} = -\mathbf{\Sigma}_{\text{FX}}^{-1}\mathbf{\Sigma}_{\text{EQFX}}$ til EQ, således at den samlede aktievolatilitet minimeres. Formålet med FXHEDGE er således at reducere aktievolatiliteten ved at inkludere en maksimalt negativt korreleret valutaportefølje, hvor de optimale hedgepositioner er proportionelle med de negative korrelationer.

Som beskrevet i afsnit 5.1 kan konstruktionen af FXHEDGE både foretages ved Robust eller Optimized tilgang. Robust kræver kun ét estimat for kovariansstrukturen i valutaerne og EQ, da vi betragter valutaerne som en markedsvægtet samlet valutapulje. Det betyder, at vi kan reducere udtrykket for de optimale hedgepositioner i en Robust FXHEDGE portefølje til $\boldsymbol{w}_{\text{hedge}} = h\,\text{FX}$, hvor $h = -\rho_{\text{EQ,FX}}(\sigma_{\text{EQ}}/\sigma_{\text{FX}})$. Optimized udnytter alle elementer i $\mathbf{\Sigma}_{\text{FX}}$ og $\mathbf{\Sigma}_{\text{EQFX}}$ ved dynamiske estimater for kovariansmatricerne og en variabel correlation shrinkage-metode baseret på den analytiske formel i ligning 5.10. På denne måde sikres, at alle valutaegenskaber samt deres relation til det hedgede internationale aktieindeks inkluderes i beregningen af MINVAR-porteføljen. Vi simulerer i alt fire MINVAR-porteføljer med:

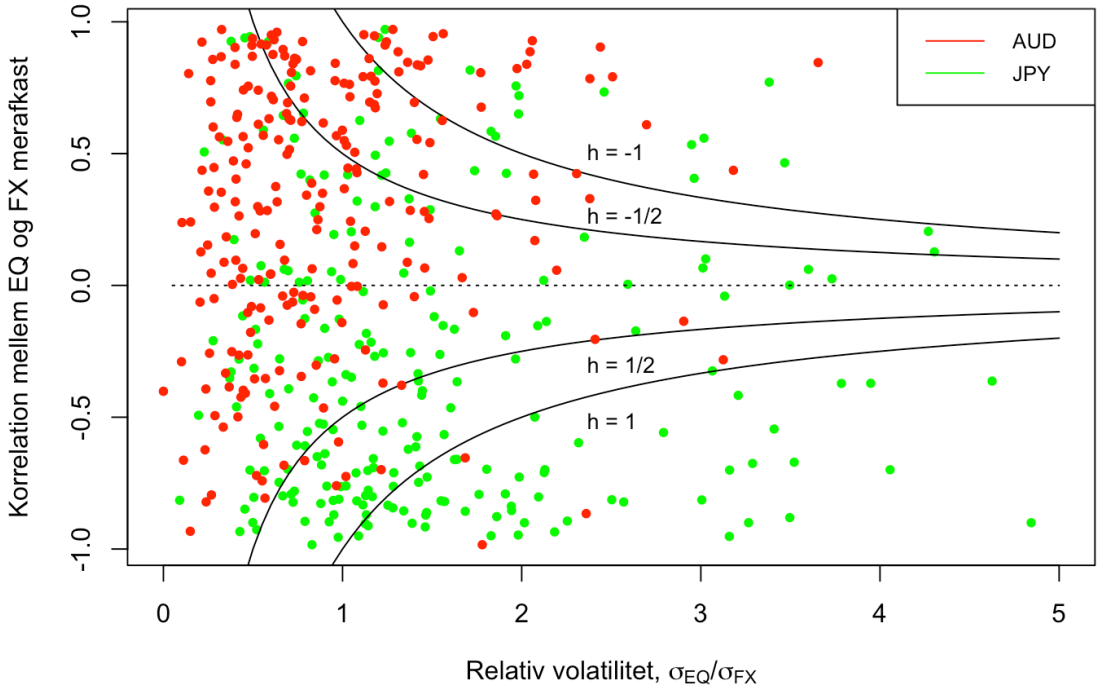
- Statisk hedge og Robust tilgang
- Dynamisk (tidsvarierende) hedge og Robust tilgang
- Statisk hedge og Optimized tilgang

- Dynamisk (tidsvarierende) hedge og Optimized tilgang

hvor de dynamiske MINVAR-porteføljer betragtes som betingede hedgingstrategier, da hedgepositionerne afhænger af den dynamiske kovariansstruktur. Alle dynamiske porteføljer rebalanceres månedligt. Vi sammenfatter resultaterne for de statiske og dynamiske strategier og viser, at aktieporteføljens samlede varians minimeres signifikant ved tilføjelsen af et MINVAR-element.

Vi er interesserede i at undersøge, hvordan vores internationale aktieportefølje kan hedges optimalt. Tankegangen bag MINVAR-porteføljen ved både Robust og Optimized tilgang er at udnytte valutaernes kovariansstruktur samt kovariansen mellem valutaerne og det hedgede aktieindeks. MINVAR-porteføljen er grundlæggende baseret på idéen om, at hvis eksponeringen i en udenlandsk valuta er negativt (positivt) korreleret med det underliggende aktiv (f.eks. en aktiekomponent), kan investoren opnå lavere samlet porteføljevolatilitet ved at holde en lang (kort) position i den udenlandske valuta. Hedgepositionen afhænger da af den relative volatilitet mellem det underliggende og valutaen samt størrelsen på korrelationen mellem de to. For en variansminimerende investor vil en korrelation, $\rho(\mathrm{EQ}, \mathrm{FX})$, på nul betyde, at investoren ikke vil foretrække nogen form for valutaeksponering. I stedet vil investoren foretrække en fuldt hedged position svarende til kun at være lang i den 100% hedgede aktieportefølje, EQ. En yderligere valutaeksponering vil i dette scenarie eksponere porteføljen overfor unødvendig risiko og deraf øge den samlede volatilitet i porteføljen. I tilfældet hvor korrelationen, $\rho(\mathrm{EQ}, \mathrm{FX})$, er positiv, ændres investorens hedgingpræferencer. Investoren ønsker nu at fjerne valutaeksponeringen ved at gå kort i valutaer med positive korrelationer og derved være mere end fuldt hedged. Omvendt vil en negativ korrelation medføre, at investoren vil foretrække at øge valutaeksponeringen. Den optimale valutaeksponering for de individuelle valutaer og dermed den optimale valutaspecifikke hedgeposition kan skrives ved $h = -\rho(\sigma_R/\sigma_{R_{\mathrm{FX}}})$.

Ovenstående idé er eksemplificeret i figur 2. Figuren illustrerer de tidsvarierende (månedlige) optimale hedgepositioner for JPY og AUD (de to valutaer med numerisk største korrelationer med EQ jf. tabel 4) for en EUR-baseret investor fra 2002-2019. De illustrerede sorte linjer er funktioner, som angiver de specifikke kombinationer af korrelationen mellem EQ og FX og den relative volatilitet mellem EQ og FX for et fast h. En fuldt uafdækket position svarer til linjen, hvor $h = 1$, hvorimod en fuldt afdækket position svarer til linjen, hvor $h = 0$. Det fremgår af figuren, at de fleste positioner i både AUD og JPY afviger signifikant fra $h = 0$, hvilket indikerer, at investoren kan mindske sin risiko ved at optage valutaeksponering.



Figur 2: Månedlige optimale hedgepositioner for udvalgte valutaer (JPY og AUD) på månedsbasis over perioden 2002-2019 for en EUR-baseret investor. Linjerne repræsenterer specifikke kombinationer af korrelationen $\rho(\text{EQ}, \text{FX})$ og den relative volatilitet mellem EQ og FX for et fast h. En fuldt uafdækket position svarer til $h = 1$, mens en fuldt hedged position er $h = 0$. Data genereret ved egen kode.

Der er et mønster for, hvordan de optimale hedgepositioner fordeler sig på grafen, selvom valutaeksponeringerne varierer over tid. Investoren vil i perioden generelt være kort i AUD og lang i JPY over tid, hvilket er i overensstemmelse med de beregnede korrelationer beskrevet i tabel 4. Fra tabel 4 ved vi, at korrelationen mellem AUD og EQ er 0,50, hvilket taler for, at vi gerne vil fjerne eksponeringen mod AUD over tid for at opnå et optimalt hedge. Det positive korrelationsforhold mellem EQ og AUD (og valutaer som NZD med positiv korrelation jf. tabel 4) vil derfor også give et naturligt hedge for AUD-baserede investorer. Omvendt så vi, at korrelationen mellem JPY og EQ var -0,40, hvilket medfører, at vi ønsker en positiv eksponering mod JPY over perioden. Bemærk også, at de optimale hedgepositioner varierer kraftigt over tid, hvilket taler for aktiv (dynamisk) valutahedging.

I tabel 5 dokumenterer vi resultaterne for de gennemsnitlige volatilitetsniveauer i de fire konstruerede MINVAR-porteføljer sammenlignet med EQU (uafdækket aktieportefølje) og EQ (100% hedged aktieportefølje). Som det første kan man se den positive effekt på volatilitetsniveauet ved at være fuldt hedged sammenlignet med en aktieportefølje uden et valutahedge, EQU. Volatiliteten falder samlet fra 16,30% til 15,76% ved at hedge sin valutaeksponering 100% tilbage til EUR. Vi kigger nu trinvist på udviklingen af volatiliteten fra Robust- til Optimized-versioner af MINVAR-porteføljen. MINVAR Robust (statisk hedge) producerer en anelse lavere volatilitet ved at anvende en fast valutapulje til at beregne en statisk hedgeposition over hele stikprøveperioden. Sammenlignet med en fuldt hedged position falder volatiliteten fra 15,76% til 15,65%. Dynamisk bestemmelse af hedgepositionen (MIN-

VAR Robust (dynamisk hedge)) leder til yderligere volatilitetsreduktion med en volatilitet på 14,10%. Dette understøtter vores initiale idé om, at aktiv (tidsvarierende) hedging er at foretrække til bestemmelse af de optimale hedgepositioner. Implementeres MINVAR-porteføljerne med Optimized tilgang fås endnu en reduktion i volatiliteten. Faktisk er resultaterne i den statiske version af Optimized betydeligt bedre end den dynamiske version af Robust, og volatiliteten reduceres med hele 18,9% fra 14,10% til 11,44%. Dette resultat indikerer en stærk præference for Optimized tilgang til bestemmelse af MINVAR-porteføljen. Vi tilføjer derfor den fuldt fleksible Optimized MINVAR-portefølje, som både er dynamisk, og som udnytter alle valutaegenskaber i hver tidsperiode. Volatilitetsniveauet reduceres fortsat for MINVAR-porteføljen fra 11,44% til 9,74%, hvilket er en reduktion på 14,9%.

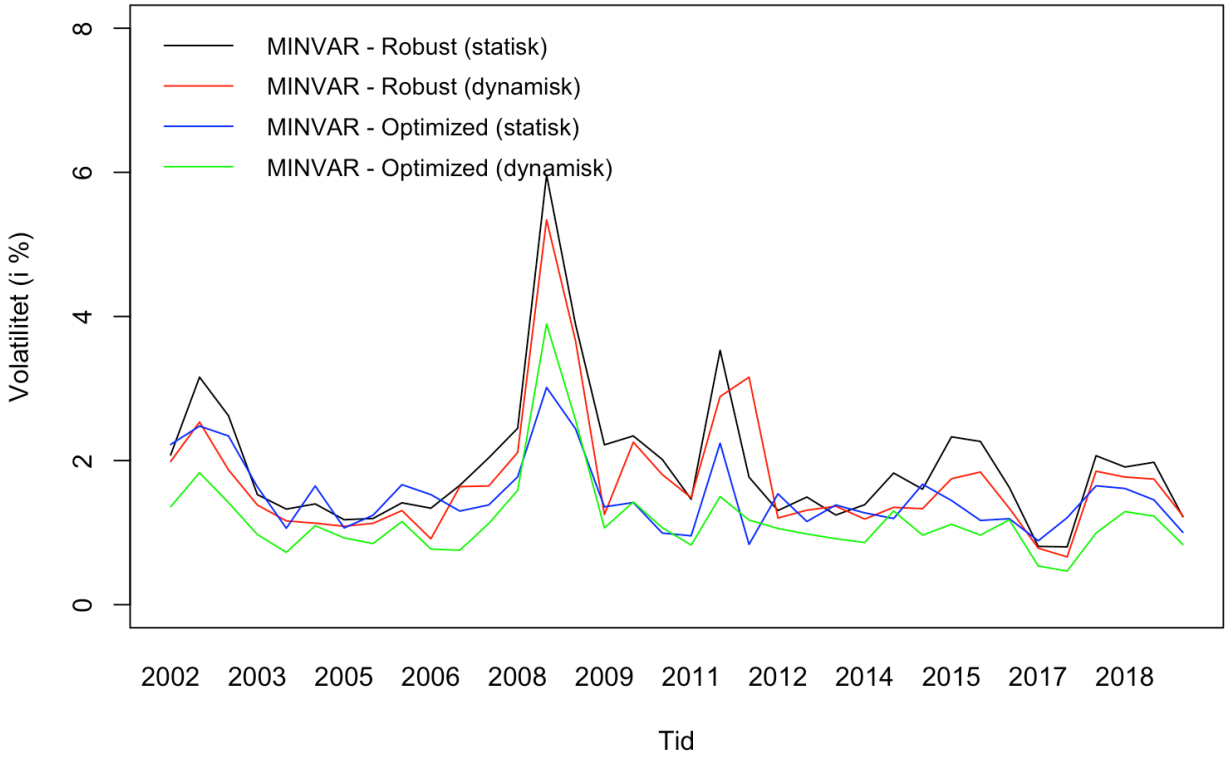
Portefølje	Hedge	Metode	Annualiseret volatilitet
EQU	Unhedged	–	16,30%
EQ	100% hedged	–	15,76%
MINVAR	Robust	Statisk	15,65%
MINVAR	Robust	Dynamisk	14,10%
MINVAR	Optimized	Statisk	11,44%
MINVAR	Optimized	Dynamisk	9,74%

Tabel 5: 1) Annualiseret volatilitet i EQU (uafdækkede aktieportefølje), 2) EQ (100% hedged aktieportefølje) og 3) de konstruerede MINVAR-porteføljer ved brug af metoderne: 1) Robust og 2) Optimized for hhv. statisk og dynamisk (tidsvarierende) beregning af de optimale hedgepositioner over hele stikprøveperioden.

Vi har nu opstillet resultaterne for den optimale MINVAR-portefølje ved to tilgange: Robust og Optimized. Vi har set, at de statiske hedgestrategier er suboptimale, da de ignorerer de enkelte egenskaber for selvstændige valutaer ved at antage, at hedgepositioneringen er tidsinvariant. Vi har studeret forskellige tilgange til MINVAR-porteføljekonstruktion og finder, at Robust MINVAR-optimering ikke formår at fange de valutaspecifikke egenskaber ved at anvende enkelte estimater for volatilitet og korrelation. MINVAR-porteføljen opnås bedst ved at implementere en fuldstændig optimeret tilgang, der udnytter de forskellige valutaers egenskaber til at minimere den samlede aktievolatilitet. Resultatet er konsistent med Boudoukh et al. (2019), som ligeledes foretrækker en Optimized tilgang til bestemmelse af FXHEDGE. En forklaring på dette resultat kan eksemplificeres ved korrelationerne mellem valutaerne og den hedgede aktieportefølje: Vi ser en positiv korrelation mellem USD og CAD ($\rho_{\text{USD,CAD}} = 0{,}55$), men valutaerne har korrelationer med modsat fortegn med den hedgede aktieportefølje EQ (hhv. -0,12 for USD og 0,33 for CAD). Det indebærer, at både en lang position i USD og en kort position i CAD vil reducere volatiliteten men også diversificere risikoen i valutaporteføljen grundet den positive korrelation mellem valutaerne. Det omvendte er imidlertid gældende for JPY og SEK. Korrelationerne mellem disse og EQ er fortsat med omvendt fortegn, hvor korrelationen mellem JPY og EQ er negativ

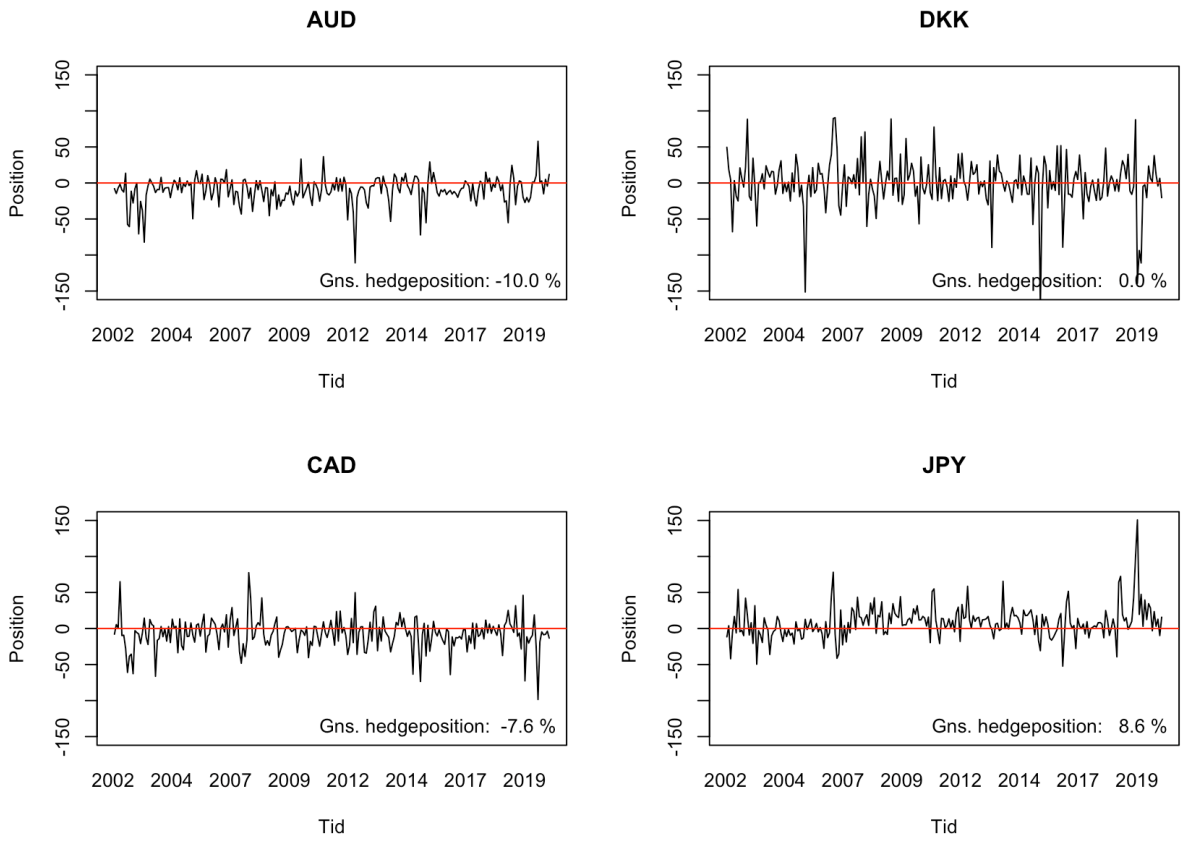
(-0,40), mens korrelationen mellem SEK og EQ er positiv (0,34). En lang position i JPY og en kort position i SEK vil ikke diversificere den samlede valutarisiko, da valutaerne er negativt korrelerede ($\rho_{\text{JPY, SEK}}$ = -0,06). Optimized MINVAR fanger netop denne egenskab, hvorimod Robust MINVAR behandler korrelationerne ud fra ét enkelt samlet estimat baseret på en vægtet valutaportefølje.

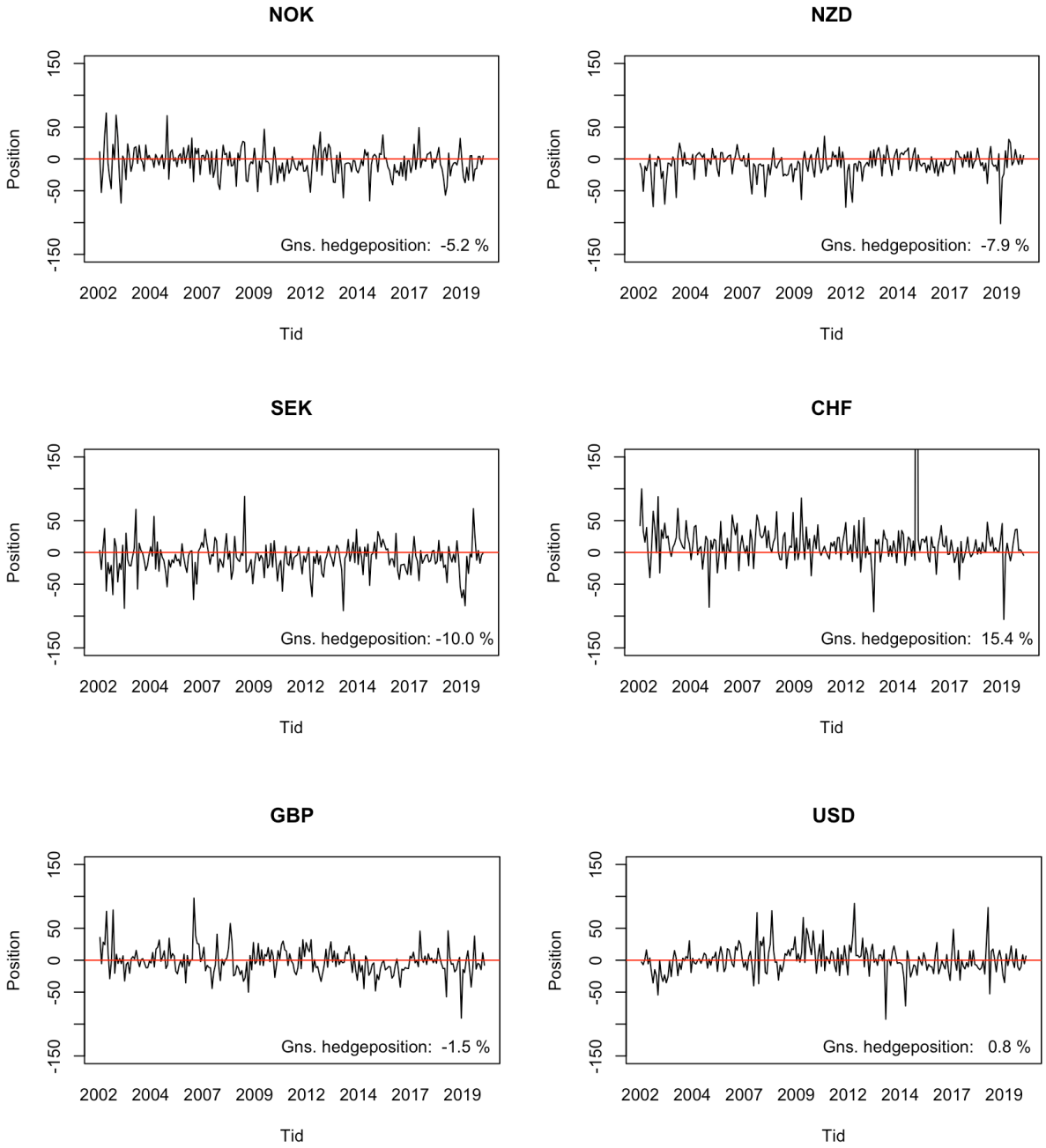
Figur 3 viser den rullende 6M volatilitet for de fire konstruerede MINVAR-porteføljer. Selvom MINVAR Optimized (dynamisk) i størstedelen af perioden ikke outperformer en dynamisk Robust tilgang målt på merafkast, er volatiliteten stadig signifikant lavere. Husk, at formålet med MINVAR-porteføljen udelukkende er at minimere aktievolatiliteten. Vi ser, at volatiliteten gradvist reduceres fra Robust (statisk) til Optimized (dynamisk) konsistent med tabel 5. Bemærk, at MINVAR Optimized (dynamisk) generelt har et volatilitetsniveau under de andre MINVAR-porteføljer med få undtagelser. Eksempelvis har porteføljen en anelse højere volatilitet under finanskrisen sammenlignet med Optimized (statisk). Bemærk også, at resultatet er foretaget for en EUR-baseret investor, men at det ikke vil være væsentlig anderledes for investorer i andre lande, medmindre det pågældende land repræsenterer en stor andel af den globale aktieportefølje. Husk, at en Optimized tilgang beregner den optimale valutaposition ved $\mathbf{w}_{\text{hedge}} = -\mathbf{\Sigma}_{\text{FX}}^{-1}\mathbf{\Sigma}_{\text{EQFX}}$, som kun er forskellig for den pågældende investor gennem den internationale aktieportefølje. Med andre ord vil valutaegenskaberne være de samme, mens aktieporteføljen vil være den samme pånær investorens eget hjemmemarked.



Figur 3: 6M rullende volatilitet for alle konstruerede MINVAR-porteføljer over perioden 2002-2019. Data genereret ved egen kode.

Kigger vi på figur 4, ses udviklingen i hedgepositionerne for de enkeltstående valutaer. Det er først og fremmest tydeligt, at positionerne er tidsvarierende, hvilket understreger, at korrelationerne mellem valutaerne og aktieindekset er tidsvarierende. Alligevel ser vi nogle af de samme mønstre i valutaegenskaberne som tidligere i dette afsnit. I gennemsnit er investoren kort i AUD (-10,0%), CAD (-7,6%), NOK (-5,2%), NZD (-7,9%), SEK (-10,0%) og GBP (-1,5%). Alle positionerne er sammenfaldende med valutaernes positive korrelationer med det internationale aktieindeks dokumenteret i tabel 4. Tilsvarende har valutaer med negative korrelationer med EQ alle gennemsnitlige lange hedgepositioner: DKK (0,0%), JPY (8,6%), CHF (15,4%) og USD (0,8%). Disse resultater er konsistente med eksemplet fra figur 2. Ikke overraskende ser flere af hedgepositionerne også ud til at være relateret til carry, hvor højrentevalutaer generelt har positive korrelationer med EQ (gns. korte hegdepositioner), mens lavrentevalutaer generelt har negative korrelationer med EQ (gns. lange hedgepositioner) (jf. de empiriske resultater præsenteret i afsnit 4.3). Carry kan imidlertid kun delvist forklare korrelationerne og de gennemsnitlige hedgepositioner. SEK er eksempelvis blandt de numerisk største gennemsnitlige hedgepositioner (-10,0%), men alligevel er det ikke en valuta, man typisk forbinder med klassiske carrystrategier (mere om dette i afsnit 6.3.2).





Figur 4: Månedlige optimale hedgepositioner (i %) for alle valutaer over perioden 2002-2019 fundet ved Optimized dynamisk MINVAR-model. Af illustrationerne fremgår også de gennemsnitlige hedgepositioner i de enkelte valutaer for hele perioden. Negative (positive) vægte indebærer, at vi går kort (lang) i valutaen. Data genereret ved egen kode.

6.3 Alpha-porteføljen

Fra afsnit 5.1 husker vi, at FXALPHA per konstruktion er en portefølje, som har til formål at maksimere Sharpe ratio-forholdet. Porteføljen er samtidig uafhængig af valget af MINVAR-porteføljen, hvorfor vi kan betragte de to porteføljer hver for sig. Med andre ord vælges FXALPHA således, at den er middelværdi-varians-optimerende inden for valutaer, hvorved interaktionen med aktiekomponenten i MPMVO-porteføljen derfor ignoreres. Dette skyldes, at de selvstændige valutaporteføljer er ex ante ukorrelerede med MINVAR-porteføljen. Separationen fra MINVAR-porteføljen skaber en øget fleksibilitet med mulighed for selv at udvælge valutastrategier til sammensætningen af FXALPHA. I dette afsnit gennemgås konkrete metoder til at konstruere en samlet FXALPHA-portefølje ved brug af de veldokumenterede faktorstrategier momentum, carry og value:

Momentum	**Carry**	**Value**
Valutaer, der tidligere har leveret høje merafkast, har tendens til at gøre det i fremtiden.	Højrentevalutaer har tendens til at producere højere merafkast end lavrentevalutaer.	Valutaer har tendens til at vende tilbage til et fundamentalt ligevægtsniveau.

Tabel 6: Oversigt over faktorstrategier i FXALPHA-porteføljen.

Før vi implementerer FXALPHA-porteføljen, er vi nødt til at adressere et par fælles egenskaber for fremgangsmetoden i implementeringen af de individuelle valutastrategier. Vi modellerer faktorstrategierne med udgangspunkt i metoder fra den empiriske litteratur i kapitel 4 og evaluerer efterfølgende strategiernes individuelle resultater. Strategierne implementeres ved variation af henholdsvis 1) allokeringsregler, 2) antal positioner og 3) statiske og dynamiske vægte. Formålet er at bestemme optimale strategier for en EUR-baseret investor men også at minimere sandsynligheden for misklassifikation af faktorerne. Fælles for de enkelte faktorer i FXALPHA-porteføljen gælder følgende:

- Porteføljerne rebalanceres månedligt
- Strategierne implementeres i spotmarkedet
- Resultaterne beregnes og evalueres på baggrund af ugentlige valutamerafkast

Vores FXALPHA-portefølje konstrueres som en ligevægtet sammensætning af de enkelte faktorstrategier. Denne tilgang er velkendt og konsistent med flere investeringsbanker og kapitalforvaltere herunder J.P. Morgan Asset Management (2008), Deutsche Bank (2009), Nomura (2019) samt indeksudbydere som MSCI (2019). Afslutningsvis sammenlignes resultater fra de separate faktorstrategier og den sammensatte FXALPHA-portefølje ved hjælp af klassiske afkast- og risikomål. Det primære formål med at konstruere en FXALPHA-portefølje er at optimere Sharpe ratio-forholdet i den samlede MPMVO-portefølje men også at bidrage til analysen og sammenligningen af de individuelle valutaegenskaber.

Ved at anvende momentum-, carry- og valuefaktorer studerer vi valutamerafkastene og estimerer de enkelte valutaers eksponering overfor de forskellige faktorer.

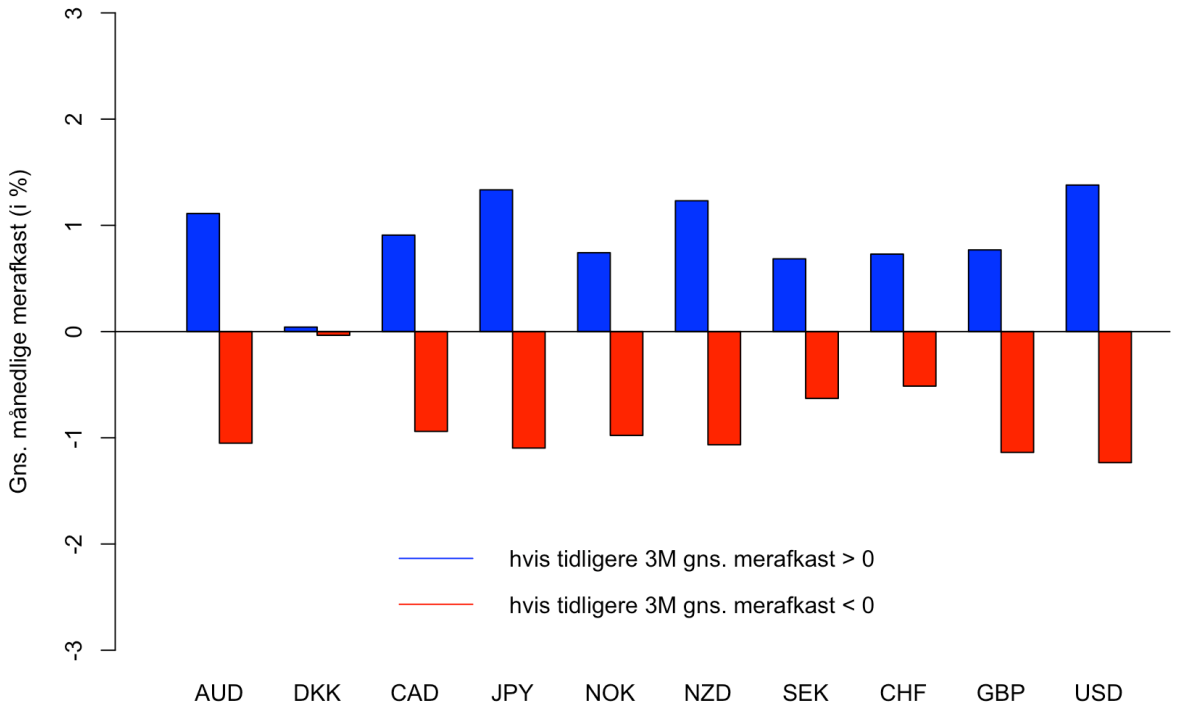
Vi introducerer i dette afsnit en iterativ proces, som skal optimere faktorstrategierne ved at maksimere Sharpe ratio mht. vægtene i valutapositionerne pr. rebalanceringsperiode for hver af de enkelte faktorer i porteføljen, således at:

$$\min_{w_{i,j}, j=1,2,3} f_i(w), i = 1, ..., N$$

hvor $f_i(w)$ er en funktion, som returnerer den multiplikative inverse værdi af den beregnede Sharpe ratio for den valgte valutastrategi pr. rebalancering i, $w_{i,j}$ er vægtene i de hhv. j korte og lange positioner i strategien pr. rebalancering i, og N er antallet af rebalanceringer i strategien. Optimeringen foretages iterativt ved en ikke-lineær numerisk metode i R (se R-kode i afsnit 10.1). Det tilladte gearingsniveau er naturligvis en vigtig overvejelse i implementeringen af FX-strategierne og for resultatet af de absolutte afkast. Vi begrænser som udgangspunkt gearingen til niveauerne i AQRs model, (Boudoukh et al., 2019, s. 72), men vil i processen variere begrænsningen for at undersøge robustheden af modellen.

6.3.1 Momentum

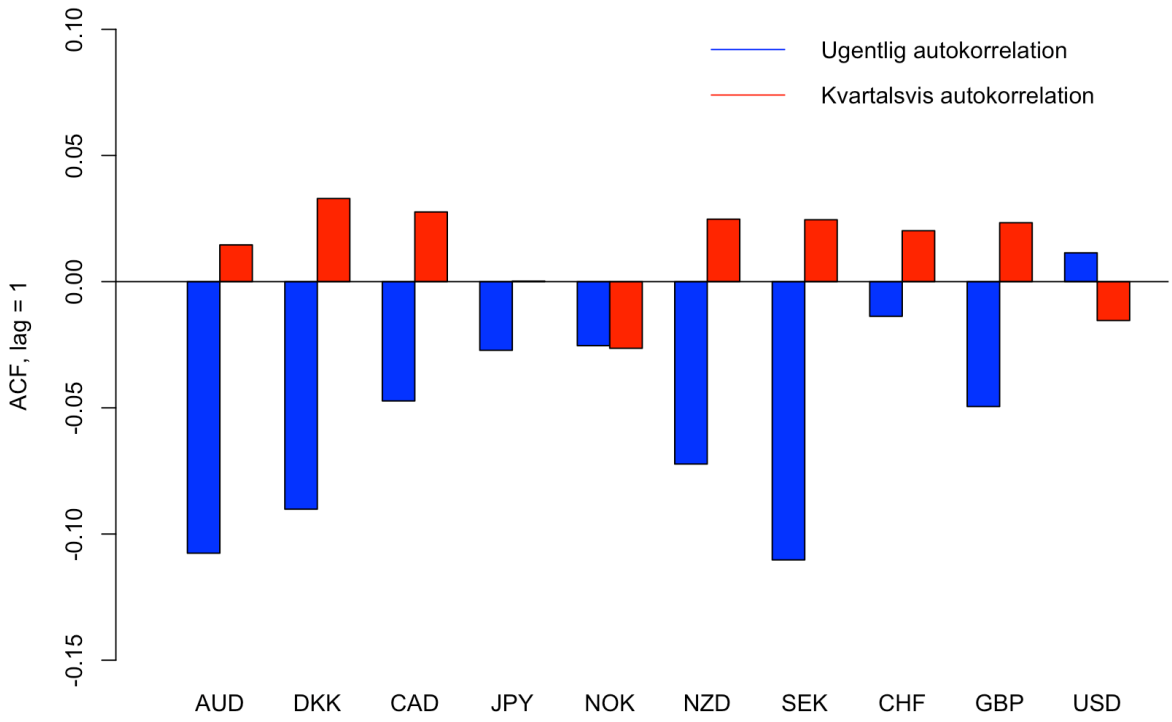
Der findes forskellige metoder til at undersøge, hvorvidt momentum er eksisterende i data. Som beskrevet i afsnit 4.2 viste Menkhoff et al. (2012b) evidens for, at op- og nedture i momentumafkast kan fortsætte kontinuert helt op til 36 måneder grundet over- og underreaktioner fra investorer. Vi tester indledningsvis for momentum i de enkelte valutaer ved at kigge på et tre-måneders gennemsnit af merafkastene for de enkelte valutaer. I tilfældet hvor det gennemsnitlige merafkast er positivt, undersøger vi, om merafkastet i den efterfølgende måned er positivt eller negativt. Resultaterne er illustreret i figur 5. Det ses, at der er en tydelig sammenhæng mellem de gennemsnitlige merafkast i de foregående tre måneder og merafkastene i den efterfølgende måned. Momentum er størst for valutaerne AUD, JPY, NZD og USD, hvor de gennemsnitlige månedlige positive merafkast er henholdsvis 1,11%, 1,33%, 1,23% og 1,38%. Omvendt ses det, at den svenske krone og schweizerfranc udviser mindre tegn på momentum både i tilfældet, hvor det historiske tre-måneders gennemsnitlige merafkast er positivt og negativt. Momentum er ikke overraskende svag for DKK grundet fastkurspolitikken overfor euroen.



Figur 5: Gennemsnitlige merafkast afhængigt af valutaernes historiske 3M merafkast. Data genereret ved egen kode.

Momentum i valutamerafkastene kan også undersøges ved brug af statistiske værktøjer som test for autokorrelation. Autokorrelation beskriver, hvor godt den nuværende værdi i en tidsserie er relateret til tidligere værdier i tidsserien. Korrelationen af observationerne i tidsserien beregnes med værdier fra samme tidsserie på tidligere tidspunkter, hvorfor det kaldes autokorrelation. Statistisk analyse af autokorrelation kan anvendes til at identificere mønstre som stationaritet, mean-reversion og momentum. Hvis tidsserien udviser autokorrelation, kan det være tegn på momentum. Når tidsserien først bevæger sig op eller ned, fortsætter den konsekvent i samme retning i et antal trin (momentum). Som nævnt i afsnit 4.2 dokumenterer Okunev & White (2003), at autokorrelation i valutaafkastene er en afgørende faktor i implementeringen af en succesfuld momentumstrategi.

Til at identificere autokorrelationsstrukturen beregnes værdierne for valutamerafkastenes autokorrelationsfunktion (ACF) ved $lag = 1$ (lag som indikerer tidslængden mellem de to observationer i samme tidsserie) på uge- og kvartalsbasis illustreret i figur 6. Vi ser overvejende positive kvartalsvise autokorrelationer i valutamerafkastene, mens de ugentlige autokorrelationer generelt er negative (USD er undtagelsen). Resultaterne indikerer, at momentum er større, når vi anvender en længere lookback-periode for valutamerafkastene. Resultatet er konsistent med Nomura (2019), der dokumenterer større positive autokorrelationer for G10-valutaer på kvartalsbasis sammenlignet med daglige autokorrelationer fra 1974-2019.



Figur 6: Autokorrelation i valutamerafkast på måneds- og kvartalsbasis med $lag = 1$. Data genereret ved egen kode.

Empiriske resultater for momentum i FX-markedet er i litteraturen eftervist og diskuteret. Nogle af de vigtigste resultater, som blev præsenteret i afsnit 4.2, vil i dette afsnit blive testet for en EUR-baseret investor. Resultatbehandlingen vil således tage udgangspunkt i allokeringsregler fra den eksisterende litteratur men have fokus på at implementere en optimal momentumstrategi, der specifikt kan anvendes for en EUR-baseret investor. Formålet er at evaluere de enkelte strategier og anvende den mest optimale strategi i sammensætningen af FXALPHA-porteføljen. Fælles for de implementerede momentumporteføljer er, at de er implementerede i spotmarkedet, mens de primære forskelle ligger i anvendelsen af forskellige allokeringsregler samt variationen af antallet af lange og korte positioner i de enkelte momentumporteføljer.

For at implementere momentumstrategier skal vi definere en række allokeringsregler. Helt overordnet testes tre forskellige allokeringsregler, som alle er beskrevet i den eksisterende litteratur. Vi viser de empiriske resultater samt diskuterer fordele og ulemper ved allokeringsreglerne. Den første allokeringsregel er beskrevet i Okunev & White (2003), som anvender en *moving average*-regel til allokering af valutaer i en long-short-portefølje. Strategien rangerer hver valuta på baggrund af et gennemsnit af den enkelte valutas merafkast relativt til dens standardafvigelse over en given lookback-periode. Matematisk rangeres hver valuta ud fra følgende risikojusterede afkastmål:

$$\frac{\bar{r}^{FX}}{\sigma_r^{FX}} = \frac{\frac{1}{\text{lookback}} \mathbf{\Sigma}_{\text{t=1}}^{\text{lookback}} r_t^{FX}}{\sqrt{\frac{1}{\text{lookback}-1} \mathbf{\Sigma}_{\text{t=1}}^{\text{lookback}} (r_t^{FX} - \bar{r}^{FX})^2}}$$

hvor r_t^{FX} angiver merafkastet på valutaerne, $\bar{r}_t^{FX}$ angiver det gennemsnitlige merafkast på valutaerne, og σ_r^{FX} er valutaernes standardafvigelse. Strategien tager da lange positioner i de valutaer med de højeste gennemsnitlige valutamerafkast relativt til standardafvigelse over en given lookback-periode og korte positioner i de valutaer med de laveste gennemsnitlige valutamerafkast relativt til standardafvigelse over samme lookback-periode.

Den anden allokeringsregel er beskrevet og anvendt af Deutsche Bank (2009). Deutsche Bank rangerer hver valuta på baggrund af et 12-måneders FX-afkast i spotmarkedet set i forhold til den indenlandske valuta. Helt konkret beregnes momentummålet ved den nuværende spotkurs relativt til -12M spotkursen. Vores strategi vil anvende den historiske udvikling i spotkursen for en EUR-baseret investor med CCY/EUR. Strategien tager da lange positioner i valutaer med største FX-afkast over en given lookback-periode og tilsvarende korte positioner i valutaer med mindste FX-afkast over samme periode.

Den tredje allokeringsregel rangerer hver valuta på baggrund af et akkumuleret merafkast over en given lookback-periode. Strategien tager lange positioner i de valutaer, hvis akkumulerede merafkast over en given lookback-periode er størst, og korte positioner i de valutaer, hvis akkumulerede merafkast over samme periode er mindst. Allokeringsreglen følger momentumstrategien beskrevet af Raza et al. (2014). Som beskrevet i afsnit 4.2 implementerer Raza et al. (2014) long-short-porteføljer ved at gå lang (kort) i de valutaer, hvis tidligere merafkast over en given lookback-periode er størst (mindst).

Fælles for de implementerede long-short-strategier er, at de alle profiterer ved de beregnede valutamerafkast gennemgået i afsnit 2.1 ved:

$$r_{t+1}^{FX} = R_{t+1}^{FX} + (R_{ft}^{f} - R_{ft}^{EUR})$$

Vi implementerer indledningvis strategier med hhv. én lang og én kort position med ovenstående allokeringsregler og varierende lookback-periode. Lookback-perioden testes for hhv. 1, 6 og 12 måneder, mens rebalancering fastholdes til én måned jf. de tidligere præsenterede empiriske regulariteter for momentum i en EUR-baseret stikprøve. Vi definerer MOM(h, s) som en momentumstrategi, hvor h angiver rebalanceringsfrekvensen, og s angiver lookback-perioden i antal måneder. Den bedste long-short momentumportefølje med hhv. én lang og én kort position opnås ved brug af en MOM(1,12)-strategi med allokeringsregel 3. Momentumporteføljen producerer et gennemsnitligt annualiseret merafkast på 1,70%, en volatilitet på 13,73% og tilhørende Sharpe ratio på 0,12 målt over hele stikprøveperioden.

Vi betragter nu en momentumstrategi, som består af hhv. tre lange og tre korte positioner i de valutaer, der udviser momentum baseret på de introducerede allokeringsregler. Vi vil i første iteration teste ligevægtede long-short-porteføljer, hvor der allokeres 1/3 til hver af de lange og korte positioner. Denne strategi er konsistent med Deutsche Bank (2009). Vi varierer lookback-perioden og rapporterer Sharpe ratios for de implementerede strategier i tabel 7. Fælles for allokeringsreglerne er, at Sharpe ratio-forholdet forøges, når lookback-perioden øges. Allokeringsregel 3 opnår fortsat det højeste Sharpe ratio-niveau på 0,19, hvilket er en forbedring ift. den simple long-short-strategi med en Sharpe ratio på 0,12. Den nye momentumstrategi har et gennemsnitligt annualiseret merafkast på 1,67% og en vola-

tilitet på 8,57%. Bemærk også, at MOM(1,12) med allokeringsregel 1 producerer en marginalt positiv Sharpe ratio.

Strategi	Allokeringsregel 1	Allokeringsregel 2	Allokeringsregel 3
MOM(1,1)	-0,08	-0,25	-0,004
MOM(1,6)	-0,04	-0,20	0,15
MOM(1,12)	0,01	-0,18	0,19

Tabel 7: Sharpe ratios for long-short momentumporteføljer med tre lange og tre korte ligevægtede positioner for de tre allokeringsregler. Resultaterne dokumenteres for lookback-perioder på 1, 6 og 12 måneder.

Den eksisterende litteratur har hovedsageligt implementeret ligevægtede 1/3 long-short momentumporteføljer jf. Burnside et al. (2011), Menkhoff et al. (2012b), Filippou et al. (2016) m.fl. Vi vil nu teste effekten af statiske og dynamiske optimale vægte bestemt ved den iterative numeriske metode defineret i afsnit 6.3. Ved implementering af statiske optimale vægte bestemmes den optimale vægtning af positionerne i momentumporteføljen for hele tidsperioden og ikke pr. rebalancering. Det betyder, at alle positioner i long-short-porteføljen tildeles en fast vægt for hele tidsperioden. Resultaterne ved at implementere statiske optimale vægte er dokumenteret i tabel 8. Vi bemærker igen, at Sharpe ratio forøges for længere lookback-perioder i de enkelte momentumporteføljer. Momentumporteføljerne med allokeringsregel 1 og 3 performer nu betydeligt bedre med statiske optimale vægte. MOM(1,12) med allokeringsregel 1 producerer den højeste Sharpe ratio på 0,26 og tilhørende gennemsnitligt annualiseret merafkast og volatilitet på hhv. 3,29% og 12,90%, mens allokeringsregel 2 fortsat underperformer uafhængigt af lookback-perioden. Resultatet skyldes, at allokeringsreglen kun baseres på det selvstændige spot FX-afkast, hvorfor renteforskellene mellem valutaer udelades i investeringsbeslutningen.

Strategi	Allokeringsregel 1	Allokeringsregel 2	Allokeringsregel 3
MOM(1,1)	0,005	-0,08	0,09
MOM(1,6)	0,12	-0,09	0,10
MOM(1,12)	0,26	0,03	0,22

Tabel 8: Sharpe ratios for long-short momentumporteføljer med tre lange og tre korte positioner med statiske optimale vægte for de tre allokeringsregler. Resultaterne dokumenteres for lookback-perioder på 1, 6 og 12 måneder.

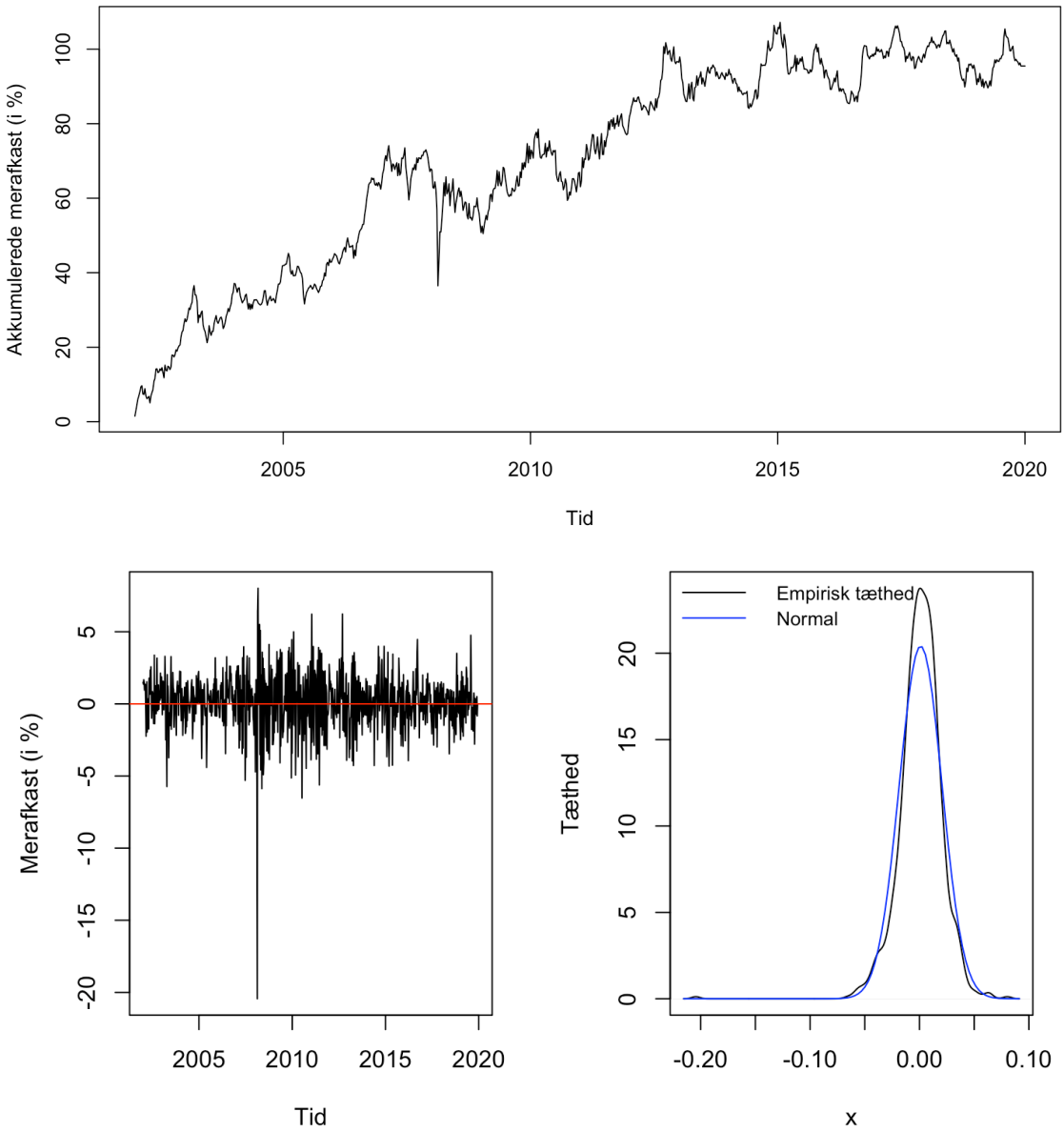
Implementeringen af dynamiske vægte i momentumstrategien for hele stikprøveperioden følger den

iterative optimeringsalgoritme beskrevet i afsnit 6.3. I optimeringen tilføjes en bibetingelse, der sikrer begrænset gearing i simuleringen af momentumstrategien med optimale vægte. Begrænsningen af gearingsniveauet er valgt således, at den tilsvarer gearingen i Boudoukh et al.'s model. Allokeringsregel 2 er ikke implementeret grundet strategiens tidligere resultater. De tidligere resultater viser endvidere, at MOM(1,12) producerer de højeste værdier af Sharpe ratio på tværs af allokeringsreglerne, hvorfor vi udelukkende sammenligner for lookback-perioder på 12 måneder. I tabel 9 sammenlignes de to endelige MOM(1,12)-porteføljer med hhv. allokeringsregel 1 og 3. Vi bemærker, at Sharpe ratio forøges sammenlignet med de statiske optimale vægte. Det ses, at allokeringsreglerne producerer sammenfaldende Sharpe ratios med en marginal forbedring ved allokeringsregel 3. Man kan således argumentere for at vælge MOM(1,12) med allokeringsregel 3 til den endelige FXALPHA-portefølje. Beregninger viser imidlertid, at turnover forøges med 25% ved allokeringsregel 3 sammenlignet med allokeringsregel 1, hvorfor vi ekskluderer MOM(1,12)-porteføljen med allokeringsregel 3.

Strategi	Allokeringsregel 1	Allokeringsregel 3
MOM(1,12)	0,41	0,42

Tabel 9: Sharpe ratios for long-short momentum-porteføljer med tre lange og tre korte positioner for allokeringsregel 1 og 3 og dynamiske optimale vægte. Lookback-perioden er 12 måneder.

Øverst i figur 7 ses det akkumulerede merafkast for MOM(1,12) med allokeringsregel 1 og dynamiske vægte. Strategien producerer et annualiseret merafkast på 5,75%, volatilitet på 14,10% og en tilhørende Sharpe ratio på 0,41. Fordelingen for valutamerafkastene i momentumstrategien er venstreskæv med beregnede momenter som skævhed og kurtosis på henholdsvis -0,54 og 5,5. Fordelingen for strategien sammenlignes med en normalfordeling nederst i figur 7. Her ses den negative skævhed i fordelingen samt kurtosis, der er betydelig højere end normalfordelingens kurtosis på 3. Menkhoff et al. (2012b) og Dahlquist & Hasseltoft (2020) finder tilsvarende skævhed for momentumstrategier. Maximum drawdown over hele stikprøveperioden, målt ved porteføljens toppunkt til efterfølgende lavpunkt, er -28,4%.



Figur 7: Akkumulerede merafkast, merafkast og tæthedsegenskaber vs. en normalfordeling for den endelige MOM(1,12) momentumportefølje. Data genereret ved egen kode.

6.3.2 Carry

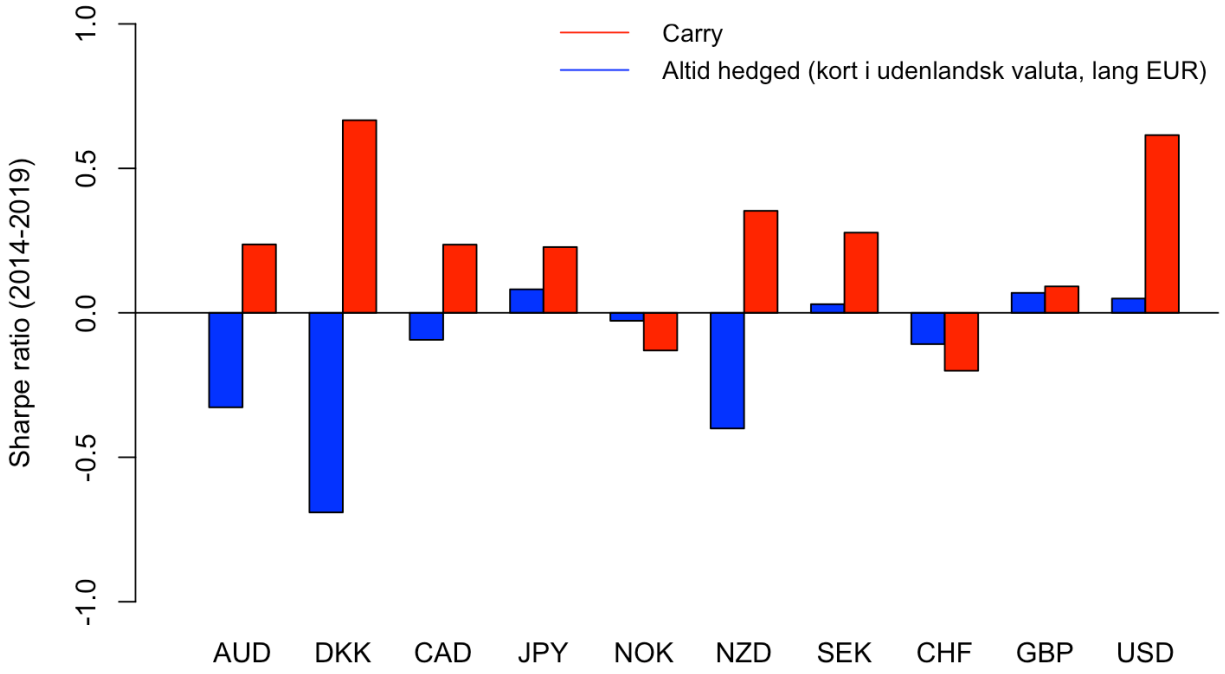
I afsnit 4.3 introducerede vi de eksisterende empiriske resultater for FX-carrystrategier, hvor artikler igennem historien har givet flere bud på effektive måder at implementere carry på. Vi understreger, at en carrystrategi kan implementeres på mange måder: ved at variere antallet af lange og korte positioner i valutaer, skelne mellem statiske og dynamiske vægte tildelt til hver af de enkelte valutaer, variere kriterier for at medtage valutaer i strategien, ændre antallet af rebalanceringer og begrænse valget af gearing mv. I dette afsnit gennemgår vi nogle af disse metoder og tager både stilling til antal positioner, beslutningsregler for valg af valutaer, statiske vs. dynamiske vægte og gearingsgrad. Resultaterne for de enkelte strategier evalueres, således at en endelig strategi kan vælges til sammensætningen af FXALPHA-porteføljen. Positionerne i alle carryporteføljer rebalanceres månedligt, og valutaerne inkluderes baseret på renteforskelle i de indhentede 3M-renter.

Vi implementerer først en simpel EUR-neutral carrystrategi. Ved EUR-neutral forstås en strategi med beslutningsregler, som måler relative renteniveauer overfor euroen. Strategien er konsistent med Daniel et al. (2017) og Nomura (2019) m.fl. og er defineret på baggrund af empiriske observationer, der viser, at højrentevalutaer i gennemsnit outperformer lavrentevalutaer. Carrystrategien baseres på følgende beslutningsregel:

Indikator	Signal	Position
(Udenlandsk rente – EUR-rente)	0 til 1+	Køb udenlandsk valuta, sælg EUR
	0	Neutral
	0 til -1	Sælg udenlandsk valuta, køb EUR

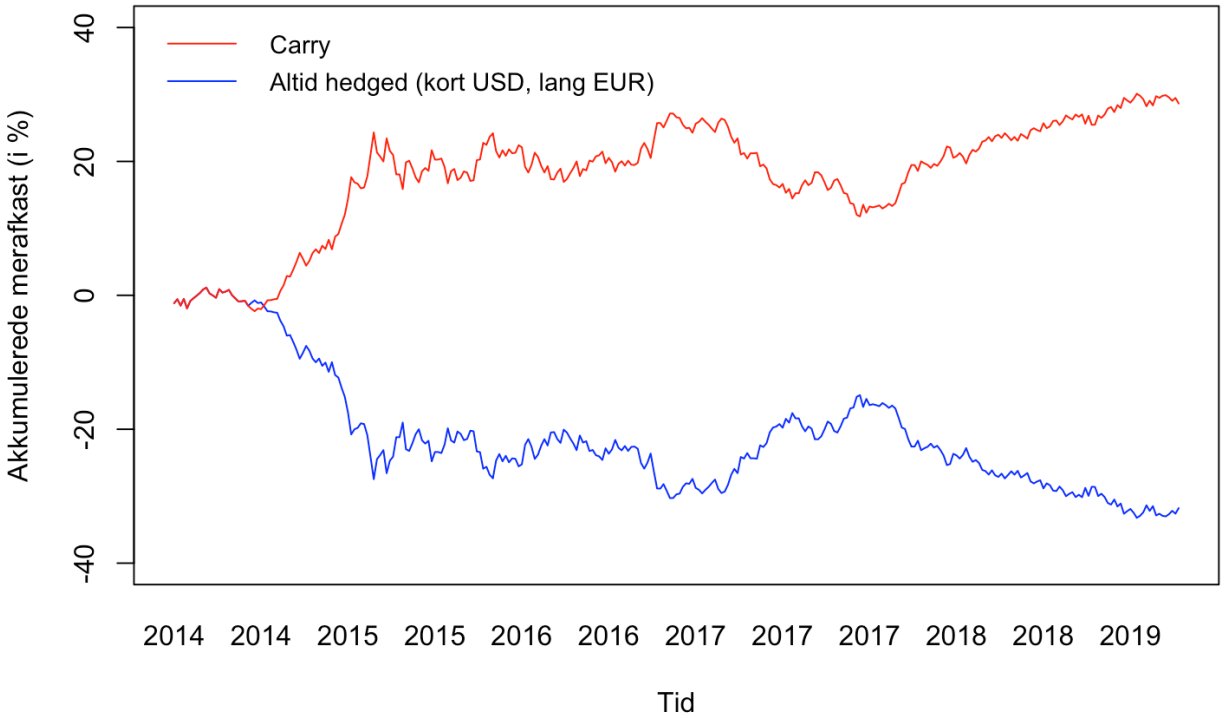
Tabel 10: Beslutningsregler for en EUR-neutral carrystrategi med indikator, signal og position.

Vi implementerer strategien for samtlige udenlandske valutaer relativt til EUR og genererer følgende Sharpe ratios over de seneste 5 år af stikprøveperioden:



Figur 8: Carry er effektiv for de fleste valutaer. Figuren illustrerer Sharpe ratios for hhv. en EUR-neutral carrystrategi (rød) og en 100% hedged position (blå) over perioden 2014-2019. Data genereret ved egen kode.

I gennemsnit fås et annualiseret merafkast på tværs af de individuelle valutastrategier på 1,38% med en volatilitet på 7,41% og en Sharpe ratio på 0,24. Dette kan sammenlignes med resultatet af en fuldt hedged position, som på tværs af valutaerne giver et gennemsnitligt annualiseret merafkast på -0,81%, en standardafvigelse på 8,40% og en Sharpe ratio på -0,14. Den gennemsnitlige carrystrategi er tydeligvis profitabel, men resultaterne for de enkelte carrystrategier varierer ikke overraskende på tværs af valutaer. Det ses af figur 8, at NOK og CHF ikke producerer effektive carrystrategier over de seneste fem år sammenlignet med en fuldt hedged position. Omvendt ser vi, at særligt USD genererer et højt risikojusteret afkast. Det er nærliggende at fremhæve det mest dominerende valutakryds: EUR/USD, da USD har en fremtrædende rolle i FX-markedet som verdens største reservevaluta. Det betyder, at langt de fleste handler i FX-markedet inkluderer en USD-dimension, og at de fleste valutaer primært kvoteres mod USD. Forståelsen af USD er derfor afgørende for at forstå den generelle tilstand i FX-markedet. Figur 9 sammenligner carrystrategien med en 100% hedged position (kort USD, lang EUR) ved at illustrere de akkumulerede merafkast. Her ser vi, at strategien er effektiv over de seneste fem år af stikprøveperioden:



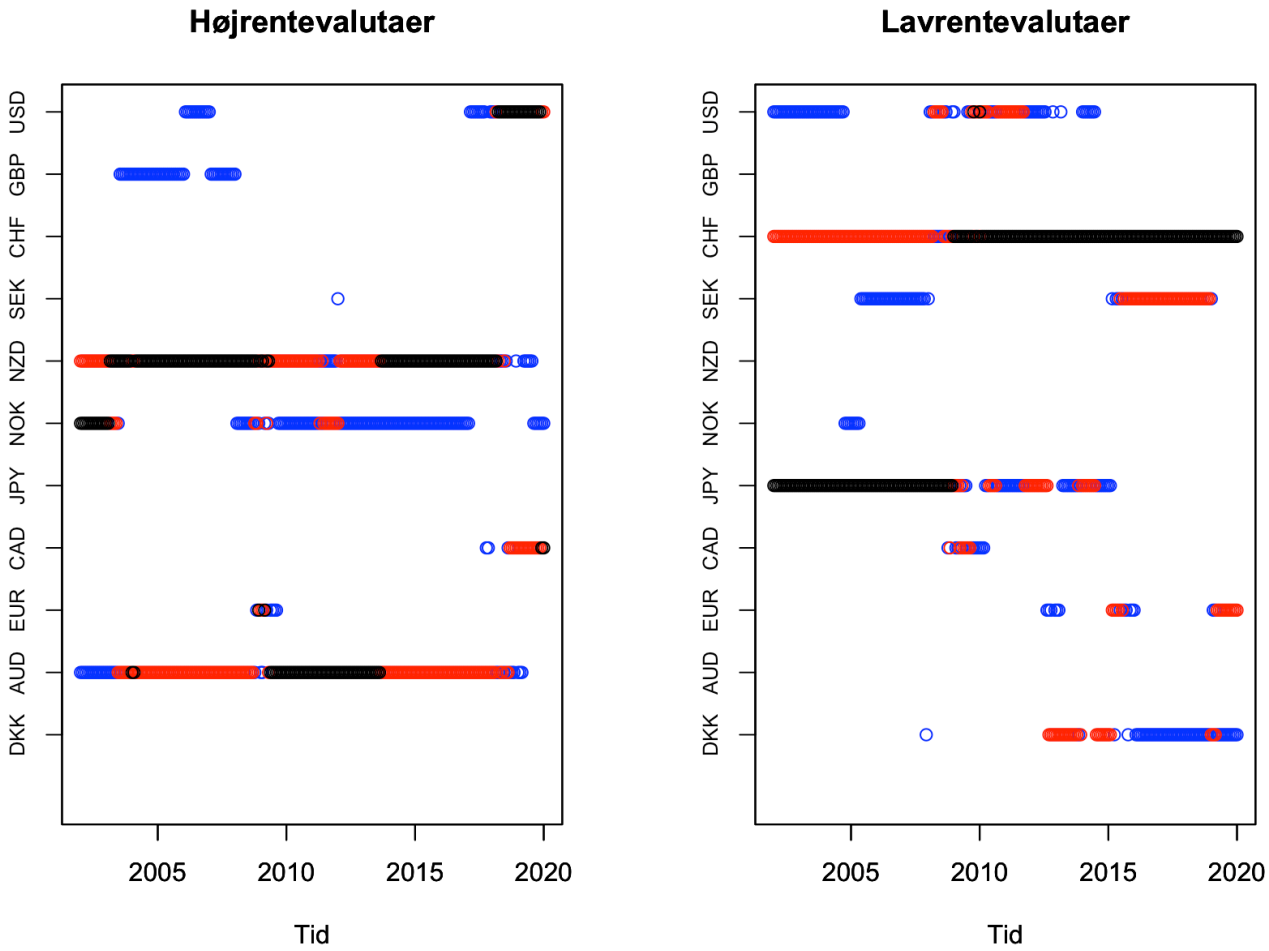
Figur 9: Carrystrategi baseret på beslutningsregel fra tabel 10 i EUR/USD. Figuren illustrerer akkumulerede merafkast for hhv. en EUR-neutral carrystrategi (rød) og en 100% hedged position (blå) over perioden 2014-2019. Data genereret ved egen kode.

Som nævnt er alle vores carrystrategier baserede på 3M-renteniveauer for alle valutaer, og hvilke valutaer, der medtages i porteføljen, varierer over tid. Valget af benchmarkrenter er konsistent med AQRs tilgang (se Boudoukh et al., 2019, s. 81) og er ligeledes standardmetoden for de fleste tidligere empiriske artikler gennemgået i afsnit 4.3. Figur 10 illustrerer den logik, vi bruger til at identificere høj- og lavrentevalutaer i simuleringen af de følgende carrystrategier. Helt konkret identificerer vi for hver måned de tre højeste og laveste renteniveauer og parrer dem med de tilhørende valutaer. Figuren viser identifikationen over tid, hvor de sorte punkter for højrentevalutaer (lavrentevalutaer) illustrerer valutaer med højeste (laveste) renteniveauer, de røde punkter illustrerer de næsthøjeste (næstlaveste) renteniveauer, og de blå punkter illustrerer de tredjehøjeste (tredjelaveste) renteniveauer. Identifikationen er foretaget pr. måned over hele stikprøveperioden.

Figuren afslører flere egenskaber ved udvægelsen af valutaer til carrystrategierne. Det ses, at CHF, JPY og DKK på intet tidspunkt i strategien identificeres som højrentevalutaer, mens GBP, NZD og AUD ikke optræder blandt lavrentevalutaerne. Det betyder også, at vi i carrystrategierne udelukkende tager korte positioner i CHF, JPY og DKK og tilsvarende kun lange positioner i GBP, NZD og AUD over tidsperioden. Fra figuren ses også, at CHF forbliver i porteføljen over hele tidsperioden som lavrentevaluta primært som enten næstlaveste eller laveste carryvaluta. Blandt højrentevalutaerne er særligt NZD og AUD dominerende, mens USD får mere indflydelse sidst i stikprøveperioden.

Figuren illustrerer også variationen i udvælgelsen af valutaerne. Der er væsentligt mindre variation i

udvægelsen af hhv. de højeste og laveste renter sammenlignet med 2. og 3. højeste og laveste renter. Det skyldes især de dominerende højrentevalutaer som NZD og AUD og lavrentevalutaerne JPY og CHF. Samtidig er variationen også et resultat af de rekordlave renter i euroområdet, hvor mange lande har sænket renterne som reaktion på økonomiske udfordringer. Det ses, at USD/CHF og CAD/CHF tilbyder de største renteforskelle i 2019, der gjorde dem til nogle af de mest attraktive valutapar i carrystrategier. Den negative rente på schweiziske franc forstærker yderligere disse handler. Som nævnt i afsnit 4.3 er AUD/JPY traditionelt blevet betragtet som det åbenlyse valg i en carrystrategi, men faktum er nu, at parret rangerer lavt målt på renteforskellene blandt G11. Forholdene mellem valutaerne er vendt på hovedet af rentenedsættelser og mindre spænd mellem valutaernes renteniveauer.



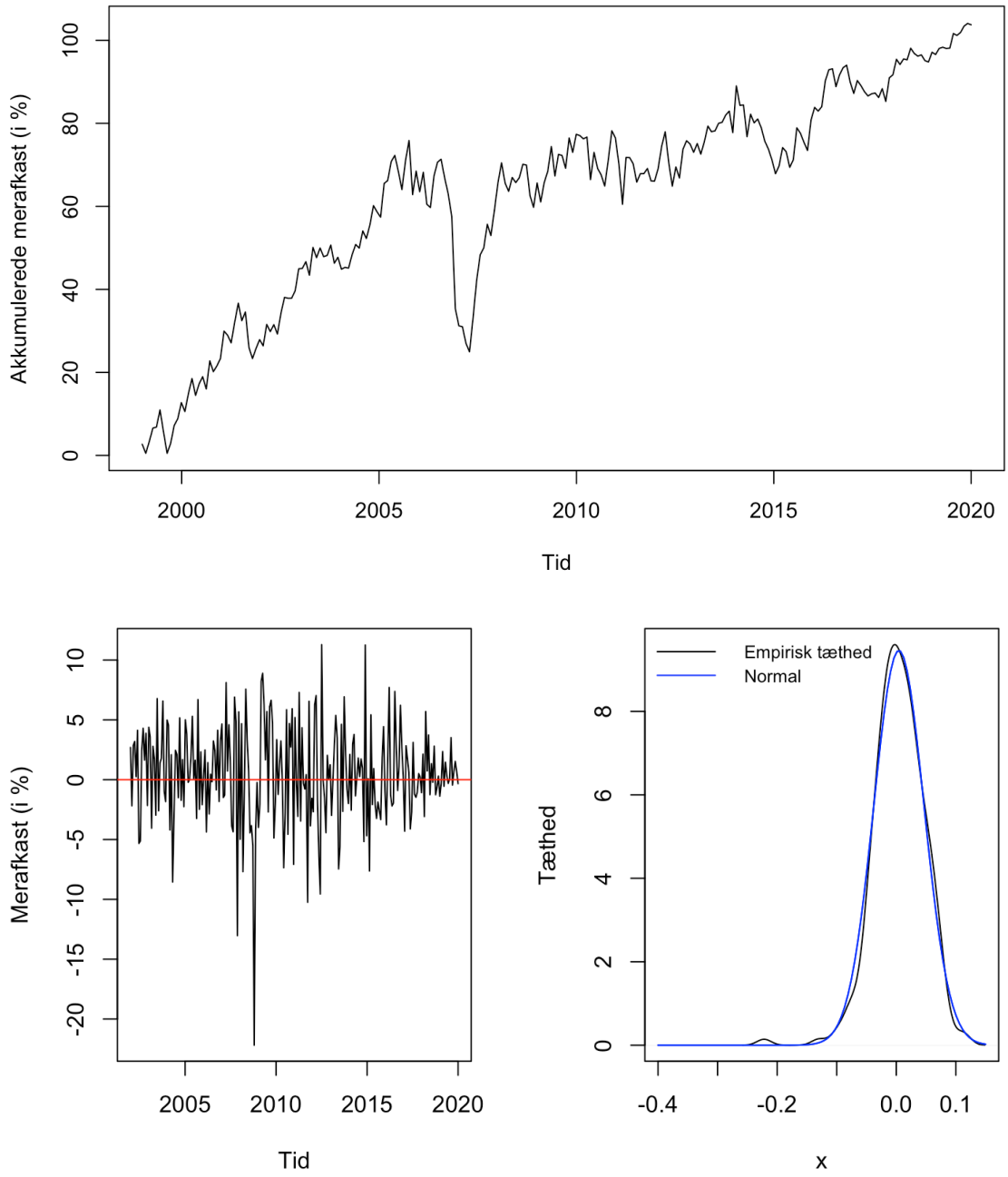
Figur 10: Identifikation af højeste og laveste renteniveauer for G11 pr. måned.
● Sorte punkter er hhv. 1. højeste (venstre) og 1. laveste rente (højre).
● Røde punkter er hhv. 2. højeste (venstre) og 2. laveste rente (højre).
● Blå punkter er hhv. 3. højeste (venstre) og 3. laveste rente (højre).
Data genereret ved egen kode.

Vi betragter nu en carrystrategi, som består af lange positioner i de tre valutaer med højeste renter og korte positioner i de tre valutaer med laveste renter i G11 baseret på 3M-renter. Bemærk, at det antages, at positionerne i de multivariate carrystrategier ikke er begrænsede af investorens valutabase, hvorfor en investor kan udnytte andre landes renter ved at finansiere de lange positioner i højrentevalutaer ved at låne i udenlandske lavrentevalutaer.

Som i Lustig et al. (2011b) rangeres valutaerne baseret på renteniveauerne for hver periode og allokeres til to delporteføljer. Delportefølje 1 består af de tre valutaer med højeste renter (ækvivalent med højeste forward discount), og portefølje 2 består af de tre valutaer med de laveste renter (ækvivalent med laveste forward discount). De to delporteføljer kombineres til én samlet portefølje. Alle strategier simuleres over hele stikprøveperioden.

Vi implementerer først en ligevægtet long-short-portefølje, hvor alle lange og korte positioner vægtes 1/3, hvilket er konsistent med Burnside et al. (2011), J.P. Morgan Asset Management (2008), Deutsche Bank (2009) m.fl. Den ligevægtede carrystrategi giver et annualiseret gennemsnitligt merafkast på 2,61% med en volatilitet på 8,65%, hvilket medfører en Sharpe ratio på 0,30. Sammenlignet med resultaterne for den EUR-neutrale strategi kan det tyde på, at der opnås diversifikationsfordele ved at tilføje flere valutaer i carryporteføljen.

Vi implementerer endvidere en carrystrategi med dynamiske vægte i hhv. de tre korte og tre lange positioner. Fremgangsmetoden til bestemmelse af de dynamiske vægte er fortsat den iterative metode beskrevet i afsnit 6.3. Porteføljerne rebalanceres på månedsbasis, og gearingen begrænses ved hjælp af bibetingelser i simuleringen af strategien. Som tidligere nævnt er det tilladte gearingsniveau begrænset til gearingen i AQRs model, (Boudoukh et al., 2019, s. 72). Figur 11 illustrerer de akkumulerede merafkast, de absolutte merafkast samt fordelingsegenskaber for carrystrategien med dynamiske allokeringer til de højeste og laveste valutaer i et G11-univers. Denne strategi har et gennemsnitligt annualiseret merafkast på 5,45% med en standardafvigelse på 14,64% og en Sharpe ratio på 0,37.



Figur 11: Akkumulerede merafkast, merafkast og tæthedsegenskaber vs. en normalfordeling for den endelige carryportefølje. Data genereret ved egen kode.

Fordelingen for merafkastene ved carry er ofte karakteriseret ved skævhed. Mængden af negativ skævhed på -0,70 i carryporteføljen er dog numerisk mindre end i den 100% EUR-hedged aktieportefølje, som har en skævhed på -1,92. Endvidere har carryporteføljen også en omtrentligt normalfordelt kurtosis på 2,97. Maximum drawdown over perioden er -30,31%. Egenskaber som negativ skævhed og halerisiko i carrystrategier er konsistente med resultater fra Brunnermeier et al. (2008), Jórda & Taylor (2009), Lustig et al. (2011a), Menkhoff et al. (2012a), Daniel et al. (2017) m.fl.

Samtidig finder vi en øget korrelation mellem carry- og EQ-merafkastene under finanskrisen, og det ses af figur 11 nederst til venstre og nederst til højre, at der ikke er tvivl om, at carrystrategien er eksponeret mod systematisk halerisiko. Det er en generel tendens for alle aktivklasser, at investorer finder det nødvendigt at sælge ud af selv deres mest likvide og effektivt prisfastsatte aktiver under finansielle kriser for at skaffe likviditet, og denne effekt straffer carryporteføljen. Samtidig er højrentevalutaer ofte positivt korrelerede med globale aktiemarkeder (understøttes af vores resultater for korrelationerne i tabel 4). Vi bemærker endvidere, at de fleste perioder med negative afkast er i perioder med generel markedsuro (som i 2007-2009 og den europæiske gældskrise i 2010), hvilket således bekræfter vores argument om, at afkastene fra carrystrategier er stærkt afhængige af den underliggende markedsrisiko.

6.3.3 Value

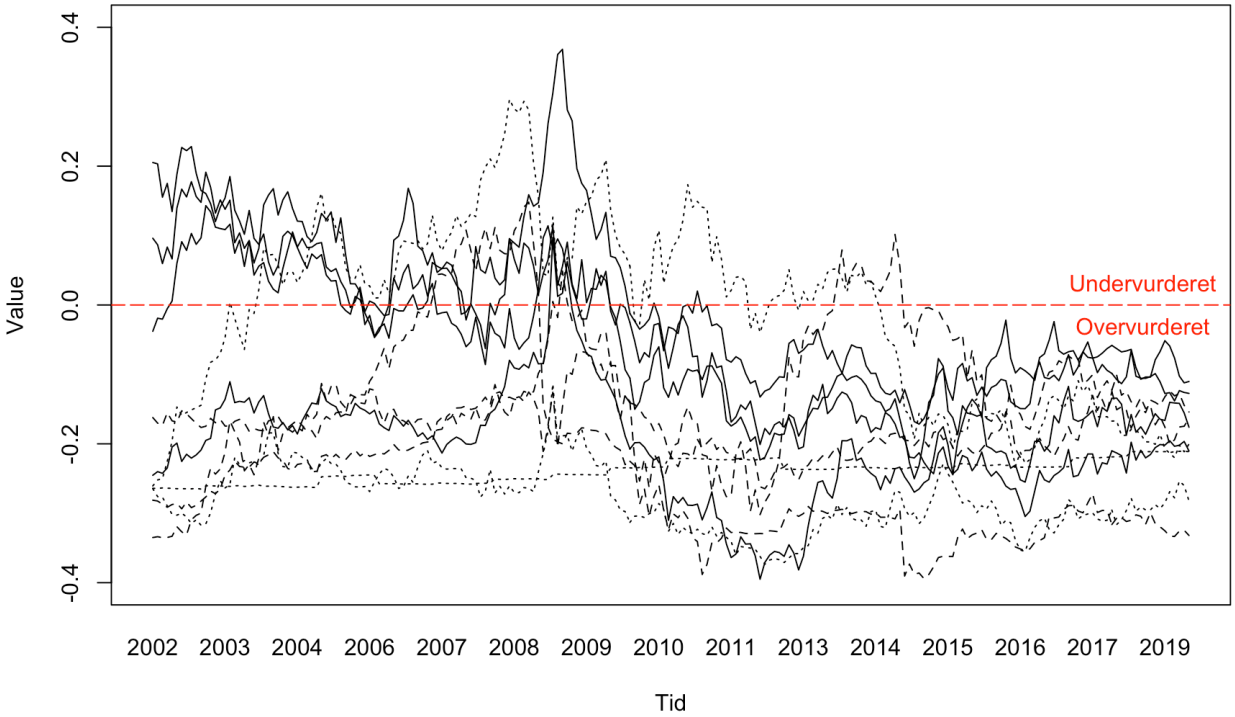
I afsnit 4.4 definerede vi value som FX-strategi, og tidligere empirisk litteratur blev beskrevet. I afsnit 3.2 introducerede vi købekraftspariteten som metode til bestemmelse af valutaers fundamentale værdi. I dette afsnit vil vi teste en række valuestrategier baseret på månedlig PPP-data for G11-valutaer. Som i implementeringen af carry og momentum vil vi variere antallet af lange og korte positioner i valutaerne, skelne mellem statiske og dynamiske vægte tildelt til hver af de enkelte valutapositioner, anvende forskellige allokeringsregler samt begrænse gearingsniveauet. Positionerne i valuestrategierne rebalanceres ligeledes månedligt, og valutaerne inkluderes på baggrund af det definerede mål for value. Fælles for alle de implementerede valuestrategier er, at valutaernes fundamentale værdi er baseret på PPP-data, som er indhentet fra The Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). OECDs PPP-mål er som tidligere gennemgået et direkte PPP-mål, som måler aktuelle prisniveauer på tværs af lande. PPP-målet anses i litteraturen for at være mere omfattende og robust end andre PPP-mål. Dette hænger i høj grad sammen med, at prissammenligningen baseres på over 3000 varer og serviceydelser. Derudover tager målet højde for forskelle i BNP-niveauer mellem lande, som i litteraturen anses for at være afgørende i bestemmelsen af prisen på en valuta. Kritikken af andre mål som Big Mac-indekset er især rettet mod den manglende BNP-sammenligning, hvor indekset ikke tager forbehold for, at priser er lavere i fattige lande sammenlignet med priser i rige lande. I praksis anvender flere kapitalforvaltere OECDs PPP-mål i implementeringen af FX-valuestrategier, herunder Deutsche Bank (2009), Amundi Asset Management (2019) m.fl. Formålet med vores valuestrategi er ikke at sammenligne forskellige PPP-mål, ej heller at teste nye metoder til bestemmelse af valutaernes ligevægtsniveau, men derimod at fokusere på at optimere vores valuestrategi givet en bestemt værdiansættelsesmodel. I afsnit 3.2 introducerede vi empiriske resultater for, at valutakurser nærmer sig deres ligevægtsniveauer på lang sigt. I dette afsnit viser vi, at systematiske køb (salg) af undervurderede (overvurderede) valutaer er profitabelt på mellemlang sigt.

Vi husker fra afsnit 4.4, at en valuestrategi i FX-markedet involverer køb (salg) af valutaer, der er undervurderede (overvurderede) relativt til deres fundamentale værdi. Vi bestemmer målet for value af valuta i til tidspunkt t ved:

$$V_{i,t} = \frac{\widehat{S_{i,t}} - S_{i,t}}{S_{i,t}}$$

hvor $\widehat{S_{i,t}}$ er vores fair pris på valuta i til tid t, og $S_{i,t}$ er den nuværende pris på valuta i til tidspunkt t. Fairprisen for valuta i findes da ved spotkursen til tidspunkt t plus forøgelsen/formindskelsen ved den tilhørende PPP-værdi til tidspunkt t. Generelt vil der derfor gælde, at positive (negative) værdier af $V_{i,t}$ vil betyde, at valutaen er undervurderet (overvurderet). Vores definition af valuemålet er konsistent med Amundi Asset Management (2019).

I figur 12 illustreres valuemålet for samtlige valutaer baseret på PPP og målt i EUR over perioden 2002-2019. Den røde stiplede linje angiver grænsen for, hvornår de enkelte valutaer er under- eller overvurderede relativt til EUR. Værdier over den stiplede linje indebærer, at den pågældende valuta er undervurderet, mens værdier under den stiplede linje betyder, at valutaen er overvurderet. Vi bemærker, at samtlige valutaer er overvurderede relativt til EUR efter 2015. En rationel EUR-baseret valueinvestor ønsker da kun at tage korte valuepositioner efter 2015.



Figur 12: Illustration af valuemål baseret på PPP for alle valutaer relativt til EUR over perioden 2002-2019. Over (under) den røde stiplede linje indikerer, at valutaen er undervurderet (overvurderet). Data genereret ved egen kode.

Den undervurderede EUR efter 2015 kan blandt andet tilskrives relative renteniveauer og opkøbsprogrammer. Den Europæiske Centralbank (ECB), som siden 1999 har varetaget pengepolitikken i eurozonen, bærer et stort ansvar for dette. ECB sikrer prisstabilitet i eurozonen, hvor en af bankens opgaver er at fastholde inflationen under 2% om året. ECB fastholdte fra 2016-2019 renteniveauet på 0%, mens andre centralbanker i perioden opererede med højere renteniveauer. Eksempler herpå er den amerikanske centralbank, Federal Reserve (Fed), som løbende hævede renten af fire omgange fra et niveau på 1,50% i december 2017 til 2,50% i december 2018. Efterfølgende har Fed løbende sænket renten tre gange med 0,25% i 2019, hvor sidste rentenedsættelse i 2019 fandt sted i oktober, hvor

renten blev sænket til 1,75%. Bank of England (BoE) hævede i august 2016 renten to gange fra et niveau på 0,25% i marts 2016 til 0,75% i august 2018. En afledt effekt af de lave EUR-renter betyder også, at valutaen er attraktiv som fundingvaluta i carryforstand, hvor hedgefonde og andre markedsdeltagere udnytter at sælge EUR mod at købe højrentevalutaer såsom CAD eller USD. Commodity Futures Trading Commission (CFTC) offentliggør ugentlige rapporter, der måler nettopositioner i FX futures, herunder EUR-futures, hos ikke-kommercielle investorer inkl. hedgefonde og kapitalforvaltere. Pr. november 2019 var EUR den mest shortede valuta blandt G10 (målt ved Bloomberg CFCT CME Euro FX Net Non-Commercial Futures Positions i 2019).

Udover rentenedsættelser påbegyndte ECB i marts 2015 et QE-program ("quantitative easing programme"), der omfattede betydelige opkøb af obligationer. QE-programmet havde til formål at understøtte væksten i euroområdet samt sikre inflationsniveauer i nærheden af 2%. Opkøbet af obligationerne øger prisniveauerne, hvormed renterne falder. Med de lave renter bliver EUR-baserede aktiver mindre attraktive at investere i, og investorer vil søge andre steder hen, mens QE-programmet øger udbuddet, hvormed valutaen svækkes. Det er dog vigtigt at understrege, at den pengepolitiske stimulans påvirker prisniveauerne med en vis grad af forsinkelse. Prisen på penge ændrer sig hurtigere end prisen på varer og tjenesteydelser, hvor hastigheden afhænger af den pengepolitiske transmissionsmekanisme.

Økonomiske og politiske begivenheder som den europæiske gældskrise og Brexit har også haft indflydelse på euroen. Den europæiske gældskrise var kendetegnet ved store statslige underskud og hurtigt voksende gældsniveauer i Europa. En række medlemmer af eurozonen, herunder Grækenland, Portugal, Irland og Italien var ikke i stand til at tilbagebetale eller refinansiere statsgæld uden hjælp fra ECB eller Den Internationale Valutafond (IMF). Konsekvenserne af den europæiske gældskrise kom til udtryk i FX-markedet ved en forøget volatilitet i EUR. Det er også en af årsagerne til, at valutaen er gået fra at være en hedgevaluta til en spekulativ valuta. Ligeledes har Brexit haft betydning for usikkerheden omkring den europæiske økonomi. Storbritanniens afkobling fra EU truer den politiske og økonomiske stabilitet, og særligt har en øget sandsynlighed for en no-deal Brexit svækket den handelsvægtede euro.

Vi bemærker også, at flere valutaer viser større afvigelser fra ligevægtsniveauet over stikprøveperioden. Den største afvigelse findes i NZD omkring finanskrisen, hvor valutaen gik fra at være overvurderet i perioden 2005-2006 til at være stærkt undervurderet under finanskrisen. Perioden fra 2004-2007 var præget af høj risikoappetit blandt investorer, hvilket betød en øget efterspørgsel på højrentevalutaer gennem carrystrategier. Jf. figur 10 havde NZD i perioden det højeste renteniveau blandt G11-valutaerne. Under finanskrisen blev positionerne i valutaer som NZD afviklet grundet øget markedsuro og flere rentenedsættelser, som ændrede forholdet mellem investerings- og fundingvalutaer. Resultatet af krisen blev, at den handelsvægtede NZD blev svækket med mere end 15%.

Vi implementerer først en simpel long-short valuestrategi konsistent med Nomura (2019). Strategien tager en lang (kort) position i den valuta, der er mest undervurderet (overvurderet). Udvægelsesmetoden af valutaerne er baseret på det tidligere definerede valuemål, hvor den lange position tages i valutaen med den højeste værdi af valuemålet V til tid t, og den korte position tages i valutaen med

den laveste værdi af V til tid t. Strategien rebalanceres månedligt og producerer et gennemsnitligt annualiseret merafkast på -3,17%, en volatilitet på 11,03% og en tilhørende Sharpe ratio på -0,29%. Resultaterne i den simple long-short-strategi er ikke overbevisende.

Vi betragter nu en række valuestrategier, som består af tre lange (korte) positioner i de valutaer, der er mest undervurderede (overvurderede). Vi rangerer hver valuta baseret på valuemålet for en given måned. Vi implementerer først en ligevægtet long-short-strategi med 1/3 vægt i hver af de korte og lange positioner. Den ligevægtede long-short-strategi med hhv. tre lange og tre korte positioner er konsistent med Deutsche Banks (2009) valuestrategi. I modsætning til Deutsche Bank anvender vi målet for value defineret af Amundi Asset Management (2019), mens Deutsche Bank definerer målet ud fra den gennemsnitlige tre-måneders spotkurs divideret med det aktuelle PPP-niveau. Den ligevægtede valuestrategi producerer et annualiseret gennemsnitligt merafkast på -1,15% og en volatilitet på 5,13%, hvilket medfører en Sharpe ratio på -0,22. Sammenlignet med den simple long-short valuestrategi ser vi en positiv effekt af at inkludere flere valutaer i porteføljen, men resultaterne er fortsat ikke overbevisende.

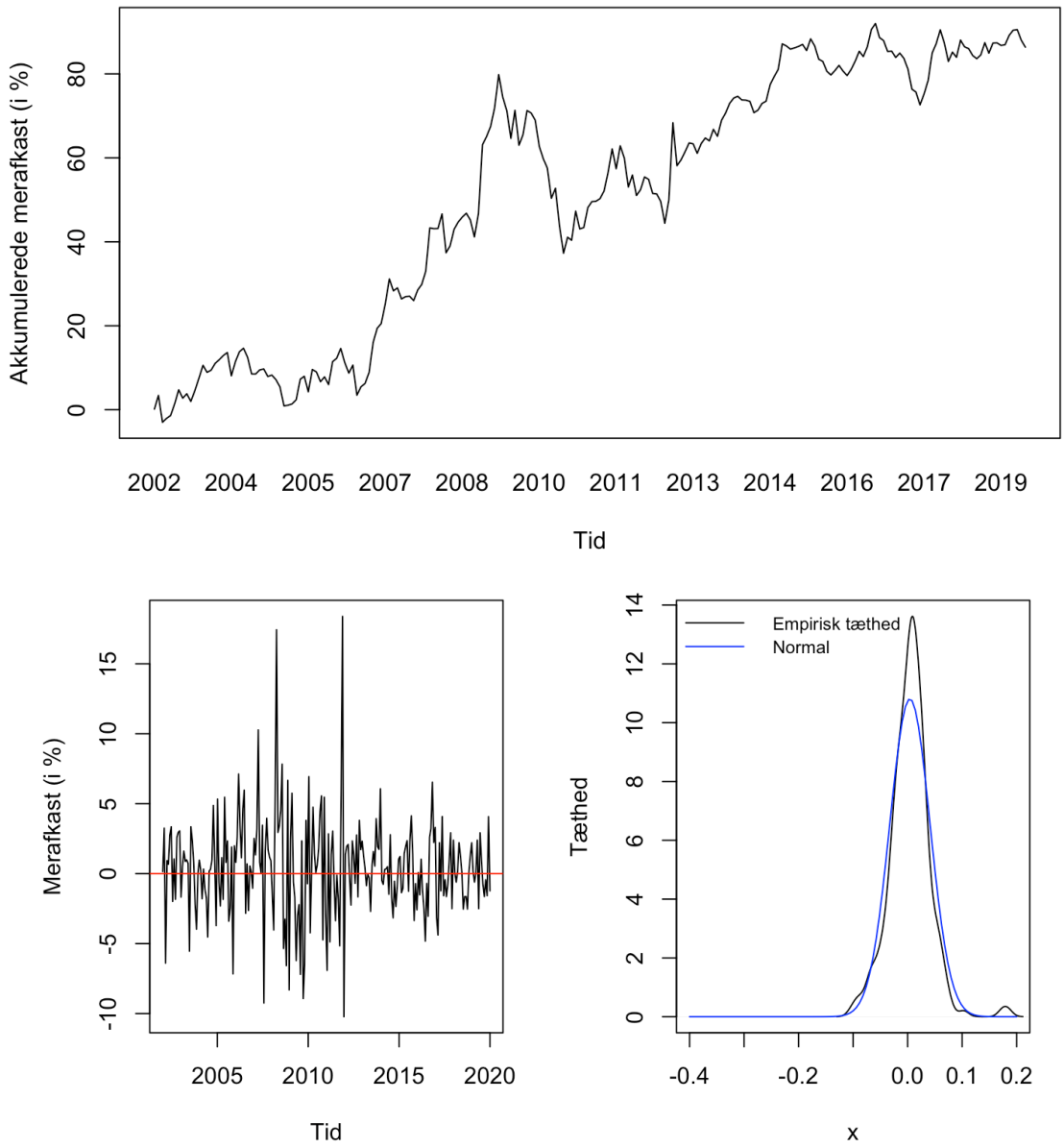
Vi tester nu effekten af statiske optimale vægte over hele perioden fra 2002-2019 bestemt ved den iterative proces beskrevet i afsnit 6.3. Alle positionerne i long-short-porteføljen tildeles en fast vægt for hele tidsperioden (i modsætning til optimering pr. rebalancering). Denne strategi giver et gennemsnitligt annualiseret merafkast på 1,56%, en volatilitet på 8,70%, en Sharpe ratio på 0,18 og dermed en signifikant forøgelse i det risikojusterede afkast sammenlignet med de to tidligere strategier. Vi bemærker, at strategien placerer vægtene i det par af valutaer, der henholdsvis er næstmest undervurderede og overvurderede for en given måned. Denne egenskab fanges hverken i den simple long-short-strategi eller i den ligevægtede strategi.

Afslutningsvis implementeres valuestrategien med dynamiske vægte. Logikken bag implementeringen følger den iterative proces med optimering pr. rebalancering beskrevet i afsnit 6.3. Optimeringsalgoritmen indeholder en bibetingelse, der sikrer begrænset gearing i simuleringen af valuestrategien. Strategien følger en logik, som allokerer valutaerne i long-short-porteføljen til tid t på følgende måde:

- Hvis valuemålet for den tredjemest undervurderede valuta til tidspunkt t er positivt: alloker da tre lange og tre korte positioner i porteføljen med dynamiske vægte for de hhv. tre mest undervurderede og overvurderede valutaer.
- Hvis valuemålet for den næstmest undervurderede valuta til tid t er positivt: alloker da tre korte positioner i porteføljen med dynamiske vægte for de tre mest overvurderede valutaer, og alloker de to resterende lange positioner i porteføljen med halvdelen af den samlede dynamiske vægtfordeling til de to mest undervurderede valutaer.
- Hvis valuemålet for den mest undervurderede valuta til tidspunkt t er positivt: alloker da tre korte positioner i porteføljen med dynamiske vægte til de tre mest overvurderede valutaer, og alloker den resterende lange position i porteføljen med summen af de dynamiske vægte for den mest undervurderede valuta.

- Hvis valuemålet til tidspunkt t for alle valutaer er negativt: alloker da udelukkende de tre korte positioner i porteføljen med dynamiske vægte til de tre mest overvurderede valutaer.

Figur 13 viser de akkumulerede merafkast og tilhørende fordelingsegenskaber for valuestrategien med dynamiske vægte. Den optimerede strategi giver et gennemsnitligt annualiseret merafkast på 4,91% med en annualiseret volatilitet på 12,72% og en Sharpe ratio på 0,39. Ved at inkludere dynamiske vægte i modellen fås således en betydelig forbedring sammenlignet med både de ligevægtede og statiske strategier.



Figur 13: Akkumulerede merafkast, merafkast og tæthedsegenskaber vs. en normalfordeling for den endelige valueportefølje. Data genereret ved egen kode.

Merafkastene ved value er, ligesom for momentum og carry, karakteriseret ved skævhed. Valueporteføljen har en skævhed og kurtosis på 0,58 og 3,73. Den positive skævhed og høje kurtosis er konsistent med resultaterne fra Raza (2015) for en strategi baseret på PPP-mål. Schindler et al. (2013) dokumenterer ligeledes skævhed i deres valuestrategi. Maximum drawdown for valuestrategien er -28,62%. Vi bemærker især, at valuestrategien producerer positive merafkast under finanskrisen. Helt konkret producerer den optimale valuestrategi et akkumuleret merafkast på 28% over perioden for finanskrisen (december 2007-juni 2009). Korrelationen mellem value- og EQ-afkastet er derfor ikke overraskende negativ under finanskrisen, mens de over hele stikprøveperioden udviser en marginal positiv korrelation på 0,01.

6.3.4 Sammenligning af FX-strategier

I dette afsnit præsenterer vi en empirisk sammenligning af de implementerede FX-strategier fra foregående afsnit. Vi er interesserede i at sammenligne både afkast-, risiko- og fordelingsegenskaber for merafkastene over perioden for hele stikprøven for at fremhæve nogle af de forskelle og ligheder, som eksisterer blandt strategierne. I sammenligningen introduceres en kombineret portefølje, CMV, som består af en ligevægtet sammensætning af momentum, carry og value. CMV-porteføljen er ækvivalent med FXALPHA-porteføljen. FXALPHA er som bekendt en delkomponent i den samlede MPMVO-portefølje.

I tabel 11 rapporterer vi afkast- og risikomål for de tre faktorstrategier og CMV-porteføljen beregnet for hele stikprøveperioden. Tabellen viser overordnet resultater for annualiseret middelværdi, volatilitet og mål som Sharpe ratio og Sortino ratio for at tage hensyn til den mængde risiko, der blev påtaget for at opnå de individuelle merafkast. Statistiske mål for risiko som skævhed, kurtosis, Maximum drawdown og korrelation med aktieporteføljen er også dokumenteret. Vi supplerer med velkendte risikomål som Value-at-Risk (VaR) og Expected Shortfall (ES), som er udregnede ved en ikke-parametrisk model baseret på fraktilen af de realiserede merafkast og indeholder således ingen fordelingsantagelser om valutamerafkastene. Definitioner af de anvendte afkast- og risikomål kan findes i bilag afsnit 10.2. Turnover er beregnet som led i forståelsen af strategiernes transaktionsomkostninger, og gearing er beregnet ved summen af de korte og lange positioner divideret med to og tilsvarer gearingsniveauet i AQRs faktorstrategier (Boudoukh et al., 2019, s. 72).

Mål	Momentum	Carry	Value	CMV
Middelværdi	5,75%	5,45%	4,91%	5,10%
Volatilitet	14,10%	14,64%	12,72%	7,99%
Sharpe ratio	0,41	0,37	0,39	0,64
Sortino ratio	0,52	0,52	0,61	0,90
Skævhed	-0,54	-0,70	0,58	-0,34
Kurtosis	5,50	2,97	3,73	2,97
Turnover	2,06	0,49	2,00	1,32
Gearing	1,4	1,4	1,5	1,4
Korrelation m. EQ	-0,03	0,48	0,01	0,28
Maximum drawdown	-28,36%	-30,31%	-28,62%	-18,65%
VaR(0,95)	3,03%	5,52%	5,71%	2,98%
ES(0,95)	4,49%	9,41%	7,61%	4,94%

Tabel 11: Afkast- og risikomål for FX-strategierne momentum, carry, value og den sammensatte ligevægtede portefølje, CMV. Estimation af risikomålene Value-at-Risk (VaR) og Expected Shortfall (ES) er baseret på en ikke-parametrisk model ved beregning af fraktilen på de historiske merafkast, og der er således ingen fordelingsantagelser om valutamerafkastene. Alle mål er baseret på det endelige valg af porteføljerne for hver af de tre faktorer beskrevet i de foregående afsnit og er beregnet over hele stikprøveperioden, 2002-2019.

Resultaterne for middelværdi, volatilitet og Sharpe ratio er bekendte fra tidligere afsnit. Ikke overraskende finder vi flere ligheder mellem strategierne ud fra disse mål. Vi ser, at alle faktorporteføljerne genererer meningsfulde merafkast og Sharpe ratios mellem 0,37 og 0,41 fra 2002-2019. Både afkast og volatilitet viser samme mønstre på tværs af strategierne med mindre afvigelser fra de gennemsnitlige niveauer. Ifølge risikomålene kan det tyde på, at strategierne har forskellig følsomhed overfor volatilitet i markedet.

Momentum har en annualiseret middelværdi på 5,75% samt en annualiseret volatilitet på 14,10%, hvilket resulterer i en Sharpe ratio på 0,41. Momentumstrategien har således den højeste Sharpe ratio blandt de tre faktorstrategier og er dermed den foretrukne selvstændige strategi ud fra et Sharpe ratio-maksimerende perspektiv. Vi bemærker, at momentum udviser mindre negativ skævhed end carryporteføljen, mens kurtosis (5,50) hos momentum er højest. Det kan imidlertid være svært at fortolke på kurtosis i en asymmetrisk fordeling (dvs. i tilstedeværelse af skævhed), da kurtosis i disse fordelinger både kan måle asymmetri og halevægte. Man er bekymret, når afkastfordelingen har tunge haler pga. sandsynligheden for ekstremt negative afkast. Maximum drawdown (-28,36%), VaR (3,03%) og

ES (4,49%) for momentum fortæller os imidlertid, at strategien udviser mindre halerisiko end carry. Vi bemærker ligeledes, at risikomålene er lavere end i valuestrategien. I den empiriske resultatbehandling af momentum valgte vi momentumporteføljen med allokeringsregel 1 baseret på et tradeoff mellem turnover og Sharpe ratio. På trods af dette ses momentum fortsat at udvise højere turnover (2,06) end både carry (0,49) og value (2,00). Det er ikke overraskende, at de enkelte valutaers momentum-eksponering ikke er konstant over tid. Det ville ellers betyde, at valutaerne systematisk er blandt de værst og bedst performende momentumvalutaer over hele stikprøveperioden. Som den eneste strategi har momentum en negativ korrelation med det internationale aktieindeks, EQ, over hele tidsperioden (-0,03). Generelt oplever vi, at momentumporteføljen performer, når markedsvolatiliteten er lav, og at momentum i høj grad afhænger af ændringer i volatiliteten (nedenstående figur 14 illustrerer de akkumulerede merafkast). Momentumstrategien outperformer derfor carry- og valuestrategien i perioder med lav markedsvolatilitet (f.eks. 2014-2017).

For carry fås en annualiseret middelværdi og volatilitet på hhv. 5,45% og 14,64%. Niveauerne er de højeste blandt de tre faktorer, mens Sharpe ratioen (0,37) er mindst. Investorer i carry påtager sig derfor mere risiko for mængden af afkast sammenlignet med momentum- og valuestrategierne. Kurtosis er omtrentligt normalfordelt med 2,97, mens skævheden er den mest negative (-0,70) blandt de tre faktorer. Disse resultater bekræfter endnu en gang, at man unægteligt påtager sig halerisiko ved at følge en carrystrategi. Det er derfor ikke overraskende, at Maximum drawdown (-30,31%), VaR (5,52%) og ES (9,41%) alle er konsekvent højere end værdierne for momentum og value. Samme fund er foretaget af Menkhoff et al. (2012a) og Daniel et al. (2017) m.fl. Husk imidlertid, at skævheden fortsat er lavere end i EQ-porteføljen, hvor skævheden er -1,9. Vi bemærker samtidig den høje korrelation med EQ-afkastet for hele perioden (0,48), hvilket i høj grad kommer til udtryk ved store drawdowns i carry under finanskrisen jf. figur 14. Adfærd hvor der er større sandsynlighed for, at ekstreme værdier sker simultant for carry og EQ kaldes også haleafhængighed. Samme drawdowns er ikke eksisterende for hverken momentum og value. Der er ingen tvivl om, at carry er en strategi, som afhænger af volatilitetsniveauet i markedet og er effektiv i et markedsmiljø med lav volatilitet som påpeget i afsnit 4.3, da lav volatilitet kan sikre, at investoren kan udnytte renteforskellene bedre. Samme resultater finder Nomura (2019) for carrystrategier med EUR-baserede investorer fra 1974-2019. I figur 11 af carrystrategiens merafkast ses også tydelige tegn på heteroskedastiske egenskaber (dvs. tidsvarierende volatilitetsniveauer i merafkastene), og for fuldstændighedens skyld bemærker vi også, at carry er den strategi med flest fortegnsændringer i merafkastet. Turnover er imidlertid markant lavere for carry (0,49) sammenlignet med momentum (2,06) og value (2,00). Dette skyldes især de systematisk høje renter i valutaer som AUD og NZD og lave renter i valutaer som JPY og AUD. Resultatet er tidligere illustreret i figur 10.

Value placerer sig både lavt på middelværdi (4,91%) og volatilitet (12,72%) sammenlignet med momentum og carry. Alligevel har strategien en Sharpe ratio på 0,39 nøjagtigt lig gennemsnittet for de risikojusterede afkast blandt strategierne. I modsætning til momentum og carry har value en positiv skævhed (0,58). Resultatet er i overensstemmelse med tidligere empirisk litteratur som Raza (2015). Der er ikke nogle betydningsfulde afvigelser i de øvrige estimater. Hvis vi sammenligner risikomål for

value og carry, er volatiliteten meget ens, mens halerisikoen er væsentligt mindre for value. Risikomål som Maximum drawdown (-28,62%), VaR (5,71%) og ES (7,61%) ligger i intervallet mellem risikomålene for momentum og carry. Turnover for value (2,00) ligger på niveau med momentum (2,06), hvilket ikke er overraskende jf. resultaterne i afsnit 6.3.3 og særligt i figur 12, der viser udviklingen i de PPP-baserede valuemål. Valutaerne er generelt ikke systematisk overvurderede eller undervurderede på trods af, at alle valutaer er overvurderede overfor EUR efter 2015. Som nævnt ser vi af figur 14, at value outperformer carry og momentum, når markedsvolatiliteten er høj, og voksende volatilitet er generelt positivt for valuestrategien. Denne effekt er især dominerende under finanskrisen.

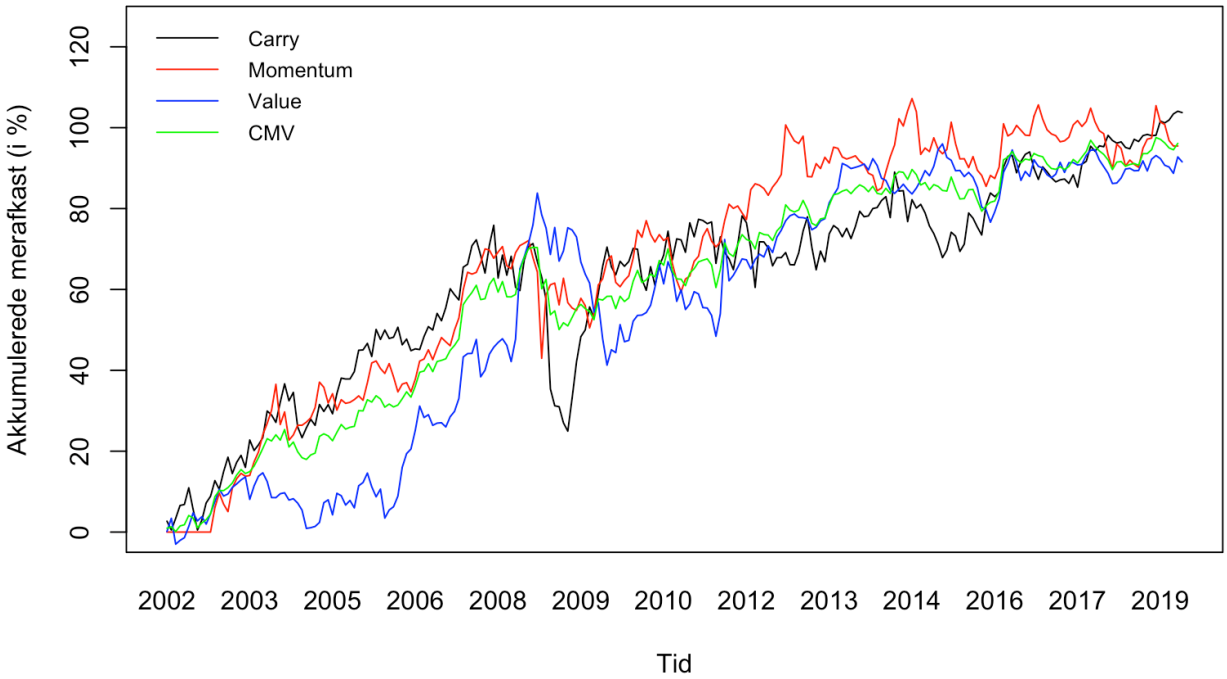
Korrelationerne mellem de enkelte strategier kan også være relevante at undersøge. De er lave for hele stikprøveperioden. Korrelationen mellem carry og momentum er -0,05, mens korrelationen mellem carry og value er 0,05, og korrelationen mellem momentum og value er 0,12. Vores resultater er konsistente med tidligere empiriske resultater, hvor Burnside et al. (2011) og Menkhoff et al. (2012a) finder, at korrelationen mellem carry og momentum er lav. Generelt er korrelationerne lave, hvilket kan forklare strategiernes forskellige egenskaber. Resultatet understreger fordelene ved at diversificere på tværs af strategierne. Kigger man på de 12M rullende korrelationer fra 2002-2019, er value ofte negativt korreleret med carry. Da må man forvente, at value outperformer, når carry underperformer, som eksempelvis gør sig gældende i bearmarkeder og i perioder med kortsigtet markedsstøj. Med andre ord udviser strategierne en vis grad af haleuafhængighed. Resultatet kan eksemplificeres ved finanskrisen (se nedenstående figur 14). Korrelationen mellem de to strategier er -58,73% over perioden 2007-2009. Med andre ord ser vi komplet forskellige afkastmønstre for strategierne under denne periode. Vi ser imidlertid også mindre perioder med højere korrelationer mellem strategierne. Dette gælder særligt i perioden efter finanskrisen, hvor alle strategier er positivt korrelerede. Seneste positive korrelation opleves i perioden 2017-2018 mellem momentum og value.

I dette afsnit introducerer vi den samlede CMV-portefølje af to grunde: dels for at teste, om de enkelte strategier har overlappende egenskaber og dels for at undersøge, om investorer kan opnå højere risikojusterede afkast ved at kombinere de tre strategier. Sidstnævnte må siges at være tilfældet. Fra tabel 11 ser vi, at CMV-porteføljen genererer en annualiseret middelværdi og volatilitet på henholdsvis 5,10% og 7,99% med en Sharpe ratio på 0,64, hvilket er 64,1% højere end den gennemsnitlige Sharpe ratio for de tre faktorstrategier. Ligeledes ser vi, at CMV-porteføljen opnår signifikant bedre resultater for Sortino med 0,90 fra et gennemsnit af de enkelte strategier på 0,55. Som forventet ser vi, at CMV-porteføljen outperformer alle de enkelte strategier. Dette skyldes især diversifikationseffekten, der opnås ved at kombinere tre porteføljer af aktiver, som er meget lavt korrelerede. CMV-porteføljen har højere korrelation med aktieporteføljen end den gennemsnitlige strategi, hvilket i høj grad skyldes carrykomponenten. Der er imidlertid ingen tvivl om, at den ligevægtede CMV-portefølje reducerer den idiosynkratiske risiko ved at udnytte diversifikationseffekten. Variationen i den samlede portefølje mindskes, og vi ser en tydelig reduktion i de beregnede risikomål Maximum drawdown (-18,65%), VaR (2,98%) og ES (4,94%).

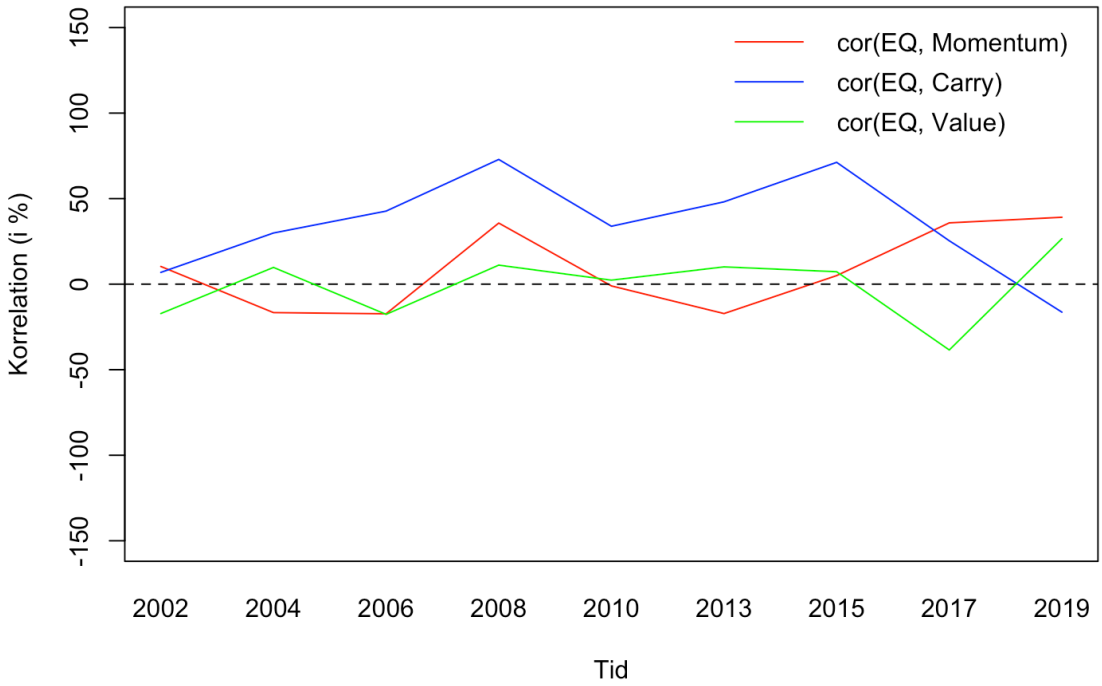
Man kunne overveje, om det var relevant at undlade enkelte strategier i den samlede ligevægtede por-

tefølje. Det er velkendt fra tidligere empiriske artikler, at selv mindre valutaporteføljer kan give store diversifikationseffekter, da valutaer generelt er mindre korrelerede end aktier (se bl.a. Burnside et al. (2008)). Vores beregninger viser imidlertid, at sammensætning af to strategier (eller mindre) ikke producerer forbedrende resultater. Resultatet bør ikke overraske grundet fordelene ved diversifikation, og vi fastholder derfor en ligevægtet kombination af de tre faktorstrategier til FXALPHA i sammensætningen af MPMVO-porteføljen senere i resultatbehandlingen.

Figur 14 viser de akkumulerede merafkast for de tre faktorstrategier momentum, carry og value og den sammensatte ligevægtede portefølje, CMV. Hver af strategierne oplever isoleret set perioder med betydelige negative afkast, men disse negative afkast forekommer imidlertid ikke på samme tid (haleuafhængighed). Finanskrisen var uden tvivl en periode med høj volatilitet. Carryporteføljen falder som nævnt kraftigt tilbage over finanskrisen, mens momentum og value er mere stabile over perioden. Det betyder, at effekten fra carry i den sammensatte CMV-portefølje ikke blev nær så negativ. En kombination af de tre valutafaktorer opnår derfor et højere risikojusteret afkast for hele stikprøveperioden.

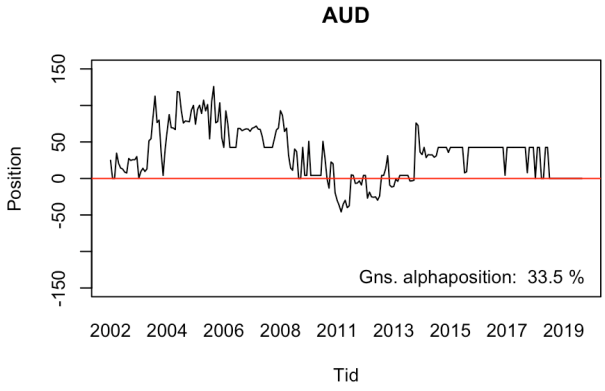


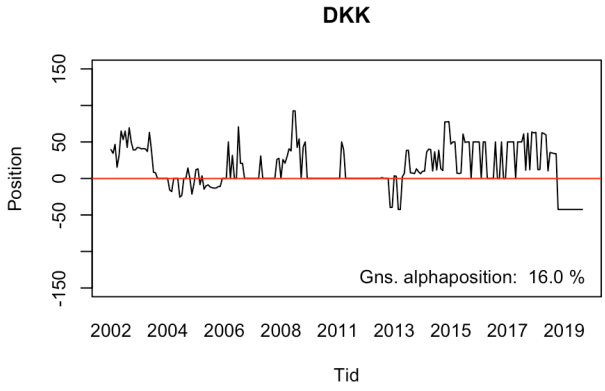
Figur 14: Akkumulerede merafkast for de tre faktorstrategier carry, momentum og value samt en kombineret portefølje, CMV, bestående af de tre ligevægtede faktorstrategier. Data genereret ved egen kode.

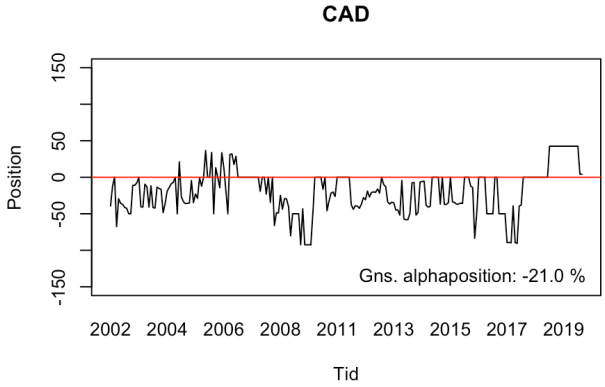


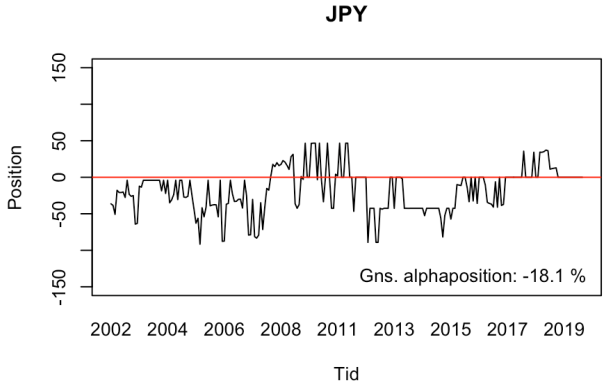
Figur 15: 24M rullende korrelation (i %) mellem den hedgede aktieportefølje, EQ, og de tre faktorstrategier: momentum, carry og value over perioden 2002-2019. Data genereret ved egen kode.

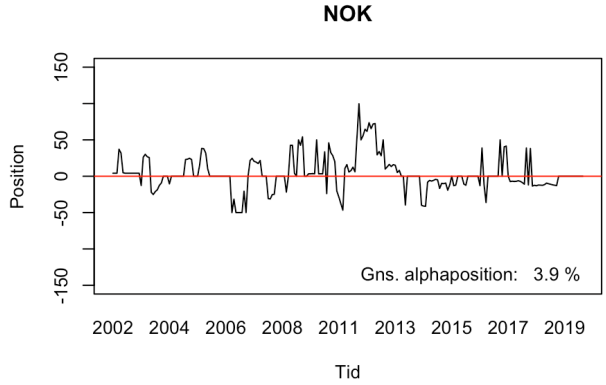
Vi undersøger, hvordan strategierne er korrelerede med EQ-aktieporteføljen over tid. Figur 15 illustrerer 24 måneders rullende korrelationer mellem momentum, carry og value og det hedgede aktieindeks. Vi har anvendt 24-måneders korrelationer, da månedlige korrelationer udviser væsentligt mere støj. Det er tydeligt, at korrelationerne er tidsvarierende. Vi noterer, at carry generelt har en høj korrelation med aktieindekset, og at strategien kun bevæger sig ned i negative korrelationer i 2018-2019. Carry har uden tvivl de største korrelationsniveauer med EQ-porteføljen blandt de tre strategier – også når vi måler korrelationer over forskellige og uafhængige tidsintervaller. Vi bemærker samtidig, at value udviser den lavest gennemsnitlige rullende korrelation med en 24-måneders gennemsnitlig korrelation på -0,6%. Resultatet er ikke overraskende givet strategiens afkast under finanskrisen, men vi får bekræftet, at strategien ikke udviser nævneværdige positive korrelationer over hele stikprøveperioden. Vores momentumstrategi har en mere volatil korrelation med EQ, og korrelationen skifter flere gange fortegn – resultatet er også gældende, når vi kigger på rullende korrelationer ved mindre intervaller. Korrelationerne har højeste niveauer under finanskrisen og i slutningen af stikprøveperioden. Alligevel så vi tidligere, at momentumstrategien samlet set har en negativ korrelation for hele tidsperioden målt på merafkast (-0,03). Resultatet er velkendt fra tidligere empirisk litteratur og intuitivt, da vi tidligere har set negative afhængigheder mellem carry og momentum. Menkhoff et al. (2012b) viser lignende resultater for momentumstrategier i mere end 40 valutaer over perioden fra 1976 til 2010.

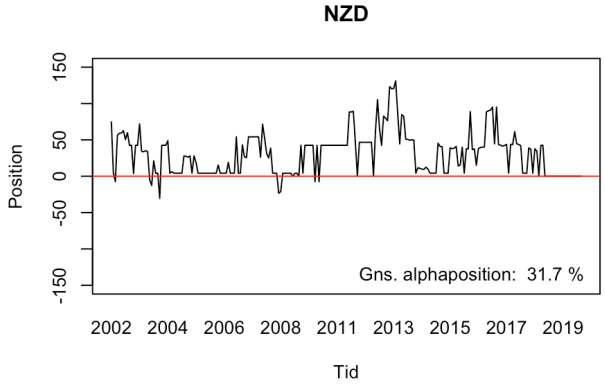

AUD
Position
150
50
0
-50
-150
Gns. alphaposition: 33.5 %
2002 2004 2006 2008 2011 2013 2015 2017 2019
Tid

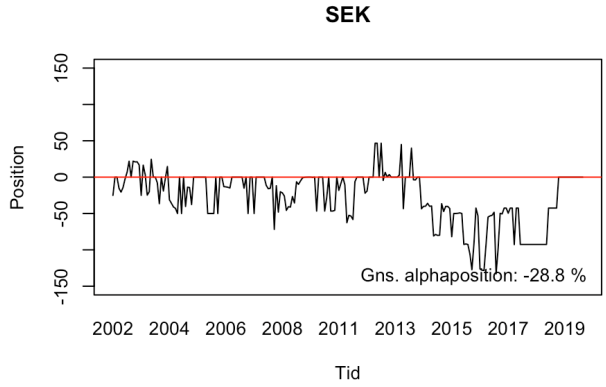

DKK
Position
150
50
0
-50
-150
Gns. alphaposition: 16.0 %
2002 2004 2006 2008 2011 2013 2015 2017 2019
Tid

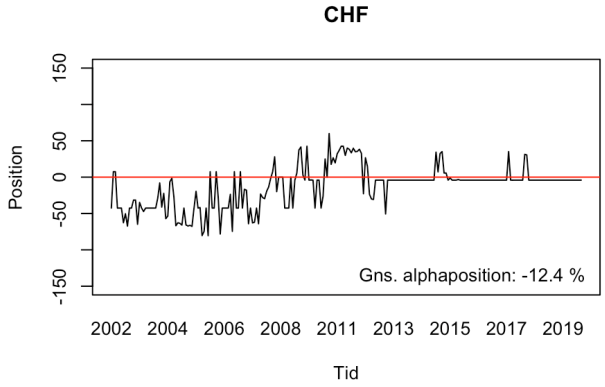

CAD
Position
150
50
0
-50
-150
Gns. alphaposition: -21.0 %
2002 2004 2006 2008 2011 2013 2015 2017 2019
Tid

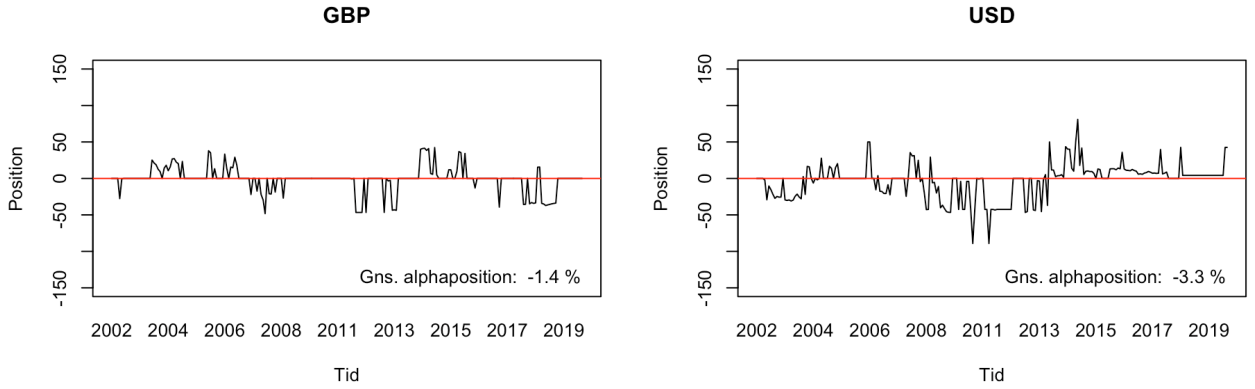

JPY
Position
150
50
0
-50
-150
Gns. alphaposition: -18.1 %
2002 2004 2006 2008 2011 2013 2015 2017 2019
Tid


NOK
Position
150
50
0
-50
-150
Gns. alphaposition: 3.9 %
2002 2004 2006 2008 2011 2013 2015 2017 2019
Tid


NZD
Position
150
50
0
-50
-150
Gns. alphaposition: 31.7 %
2002 2004 2006 2008 2011 2013 2015 2017 2019
Tid


SEK
Position
150
50
0
-50
-150
Gns. alphaposition: -28.8 %
2002 2004 2006 2008 2011 2013 2015 2017 2019
Tid


CHF
Position
150
50
0
-50
-150
Gns. alphaposition: -12.4 %
2002 2004 2006 2008 2011 2013 2015 2017 2019
Tid



Figur 16: Månedlige optimale alphapositioner (i %) for alle valutaer over perioden 2002-2019 baseret på den faktorligevægtede FXALPHA-portefølje. Af illustrationerne fremgår også de gennemsnitlige alphapositioner i de enkelte valutaer for hele perioden. Negative (positive) vægte indebærer, at vi går kort (lang) i valutaen. Data genereret ved egen kode.

Figur 16 illustrerer de enkelte valutaers kombinerede, månedlige og optimale alphapositioner. Vægtene er en sum af bidragene fra momentum, carry og value i den samlede CMV-portefølje (FXALPHA). De gennemsnitlige alphapositioner for hele tidsperioden, 2002-2019, er også inkluderet for at afsløre generelle mønstre i alphaeksponeringen. Vægtene er dynamiske, og generelt ser vi, at valutaerne både har korte og lange positioner. Det skyldes overordnet to ting: at vægtene fra de enkelte FX-strategier enten udligner eller dominerer hinanden, eller at valutaerne vægter højt i strategier som momentum og value, hvor turnover er høj grundet manglende systematik i hhv. de korte og lange positioner for de enkelte valutaer. Vi bemærker især de positive vægte i AUD og NZD med gennemsnitlige vægte for hele perioden på hhv. 33,5% og 31,7% samt de negative vægte i SEK og JPY med gennemsnitlige vægte for hele perioden på hhv. -28,8% og -18,1%. Omvendt har GBP ikke en væsentlig rolle i FXALPHA-porteføljen med en gennemsnitlig position på -1,4% uden markante afvigelser fra en neutral (flad) position over hele stikprøveperioden.

Vi tager lange positioner i AUD frem til finanskrisen i både momentum, carry og value. Efter finanskrisen tages korte valuepositioner i AUD frem til 2015. Det indikerer, at AUD således er overvurderet relativt til EUR efter finanskrisen. Resultatet er intuitivt, da valutaen er kendt for at være attraktiv, når investorernes risikoappetit er høj, og de globale økonomiske udsigter er forbedrede (husk valutaens høje korrelation med aktieporteføljen på 0,5 over perioden 2002-2019 fra tabel 4). Systematikken i bidraget fra momentum efter finanskrisen er ikke eksisterende med både korte og lange positioner, hvilket delvist forklarer den højere turnover i momentum. Carrypositionen er generelt høj i AUD og særligt i de perioder, hvor valutaen har det største renteniveau blandt G11. Dette resultat bør ikke overraske jf. logikken for høj- og lavrentevalutaer illustreret tidligere i figur 10.

DKK er umiddelbart ikke interessant, da fastkurspolitikken overfor EUR gør volatilitets- og afkastniveauerne over længere tidsperioder i valutakrydset meget lave jf. tabel 4. Denne effekt kan eliminere meget af momentum- og valuepotentialet. Vi ser imidlertid flere korte positioner i DKK fra valuestra-

tegien over tidsperioden. Årsagen kan være, at Nationalbankens reaktionsfunktion tillader muligheder i DKK/EUR-handler, idet der sigtes mod at holde krydset inden for et symmetrisk interval omkring centralpariteten (jf. Nationalbanken er udsvingsbåndet +/- 2,25%). Der er således en stærk mean-reversion-tendens. Teoretisk set vil krydset kunne handles ved at gå kort, når kursen rammer den øvre barriere og lang, når kursen rammer den nedre barriere. Bank of America anbefalede i 2015 at spekulere i, at Nationalbanken var tvunget til at udvide kronens udsvingsbånd overfor EUR (Finanswatch, 2015). I praksis er disse strategier vanskelige at implementere, da en svag valuta indebærer forventninger til fremtidige interventioner for at reducere pengemængden og styrke valutaen. Markedets forventninger til en fremtidig styrkelse fører til en øjeblikkelig styrkelse af valutaen (også kaldet "the honeymoon effect") (Vajanne, 1993, s. 3). I nyere tid er negative DKK-renter også med til at reducere fordelene ved at spekulere i fastkurspolitik. Af andre årsager har vi historisk set, at Nationalbanken har forhøjet renten i tider, hvor andre centralbanker har sænket renteniveauerne (bl.a. ved Nationalbankens renteforhøjelse på 15 bp til -0,6% under coronakrisen) for at understøtte kronen. Nationalbanken solgte i marts 2020 endvidere massivt ud af valutareserven for DKK 64,7 mia. som værktøj til intervention i valutamarkedet, hvilket må antages at være før renteforhøjelsen (Nationalbanken.dk, 2020). Ligeledes påvirker overskudslikviditeten i euroområdet også valutakrydset, hvor lavere likviditet presser EUR/DKK opad. Vi bemærker til sidst, at positive momentumpositioner udlignes af enkelte korte carrypositioner i perioder efter 2012, hvor DKK har haft en af de laveste korte renter på verdensplan med hhv. det 2. og 3. laveste renteniveau blandt G11-valutaerne (se figur 10). Helt konkret tages fire korte DKK-positioner i carryporteføljen over perioden efter 2012.

Positionen i CAD er generelt negativ (-21% i gennemsnit), hvilket i høj grad tilskrives korte positioner i valuestrategien efter 2010. CAD er således blandt de mest overvurderede valutaer i gennemsnit overfor EUR over perioden baseret på PPP-mål. Momentumeksponeringen er varierende med ni korte positioner, som holdes over længere perioder mellem 2002 og 2017 og otte lange positioner, som holdes over mindre perioder mellem 2002-2007. De lange momentumpositioner udligner i perioder flere af de negative valuepositioner. Samtidig har CAD en positiv carryeksponering fra 2017-2019, hvor valutaen over perioden både placeres med det 1., 2,. og 3. højeste renteniveau blandt G11 (jf. figur 10). Den lange carryposition er også med til at reducere den samlede negative eksponering i CAD.

JPY har ligeledes en gennemsnitlig negativ alphaposition (-18,1%). Resultatet er drevet af både korte positioner i momentum, value og carry mellem 2002 og 2017. De lange alphapositioner i JPY findes i mindre perioder med positiv valueeksponering i 2013-2014 og positiv momentumeksponering, hhv. i 2007-2012 og 2018-2019. Flere af momentumpositionerne udligner nogle af de negative positioner i carry og value. En af grundene til den positive momentumeksponering i JPY kan skyldes valutaens "safe haven"-status i tider med markedsuro og lav risikovillighed (husk også valutaens lave korrelation med EQ-afkastet på -0,40 fra tabel 4). Coronavirussen 2020 har resulteret i nøjagtigt samme resultat, hvor den handelsvægtede JPY i marts 2020 ramte sit højeste niveau i flere måneder. Den øgede efterspørgsel under finanskrisen har styrket valutaen, hvilket er opfanget af vores allokeringsregler i momentumstrategien. Omvendt tager vi større korte positioner i JPY som følge af valutaens lavrentemiljø i begyndelsen af stikprøveperioden. Frem til 2009 har JPY den laveste korte rente blandt G11-valutaerne.

NOK-eksponeringen er mere usystematisk end i de øvrige valutaer grundet volatile og modsatrettede momentum- og valuepositioner. Alligevel er den gennemsnitlige alphaposition positiv (3,9%). Vi tager enkelte lange carrypositioner i NOK, da vi klassificerer valutaen som højrentevaluta over flere perioder. Særligt har NOK det højeste renteniveau blandt G11-valutaerne frem til 31/1-2003. Vi tager kun korte momentumpositioner i NOK efter 2013 (men lange momentumpositioner inden 2013). Det skyldes den vedvarende svækkelse af valutaen grundet betydelige fald i oliepriserne (NOK udviser i perioder korrelation med oliepriser, selvom det ikke altid er tilfældet (se bl.a. Norges Bank (2016)), følsomheden overfor globale vækstopbremsninger og højere inflationsniveauer end forventet. Omvendt har svækkelsen gjort NOK betydeligt mindre overvurderet overfor EUR, og derfor finder vores valuestrategi, at NOK har potentiale til styrkelse. Det overordnede resultat for NOK er derfor, at momentumpositionen generelt er negativ, mens valuepositionen i gennemsnit er positiv. Sammenholdt med den mindre positive carryeksponering har vi i gennemsnit en mindre positiv alphaposition i NOK.

Vi tager generelt større positioner i NZD (i gennemsnit 31,7%) i den samlede FXALPHA-portefølje, og egenskaberne er meget lig vores AUD-positionering med høj korrelation med aktieporteføljen og øget efterspørgsel ved høj risikovillighed i markedet. Husk også, at korrelationen mellem AUD og NZD er 0,75 over stikprøveperioden. Vores carryposition i NZD er naturligvis positiv over hele tidsperioden grundet valutaens høje renteniveau. Dette forklarer delvist de negative afkast i carryporteføljen under finanskrisen. Positioner i kendte carrykryds som NZD/JPY blev kraftigt solgt ud og faldt 40% mellem august 2008 og februar 2009 (samme effekt ser vi aktuelt for AUD under coronakrisen, som i marts 2020 har bevæget sig under sit finanskriseniveau på en handelsvægtet basis). Vi tager enkelte korte positioner i NZD gennem value efter finanskrisen på samme vis som i AUD, og vi ser endvidere mindre korte positioner fra valuestrategien mellem 2002-2004. Omvendt ser vi også perioder under finanskrisen og af to omgange mellem 2012 og 2018, hvor vores valuemål tildeler lange positioner til NZD. Derudover er alle NZD-positioner i momentumporteføljen positive. Resultatet stemmer overens med vores tidligere fund i figur 5, hvor NZD var blandt de valutaer, som udviste største tegn på momentum ved at producere gennemsnitlige positive månedlige merafkast i tilfælde af, at de tidligere 3M-gennemsnitlige merafkast var positive.

Vores største korte gennemsnitlige alphaposition er i SEK (-28,8%). Resultatet er positivt, da SEK er blandt de dårligst performende valutaer blandt G11 over hele stikprøveperioden målt på merafkast. For det første identificeres SEK som lavrentevaluta med enten det 2. eller 3. laveste renteniveau i perioden over finanskrisen og fra 2015-2018. Denne egenskab udløser korte positioner i carryporteføljen. Der er ikke signifikante tegn på positiv momentum i SEK, og vi ser derfor kun mindre perioder (hhv. 2002-2004, 2012-2014) med lange momentumpositioner. Momentum er desuden den eneste faktor, som bidrager med lange alphapositioner. SEK er ligesom NOK en konjunkturfølsom valuta, hvilket formodentligt skyldes landets koncentration af konjukturfølsomme virksomheder, samt at investorer generelt har en tendens til at søge mod større valutaer i tider med markedsuro (se f.eks. Öberg (2009)). Vores momentumportefølje fanger dette og tager korte positioner i SEK særligt omkring finanskrisen. Vi ser i øvrigt nøjagtigt samme mønstre i svækkelsen af SEK med nye lavpunkter under den aktuelle coronakrise.

Valueeksponeringen er udelukkende negativ og vedvarende, hvorfor SEK må siges at være betydeligt overvurderet overfor EUR målt ved PPP over stikprøveperioden.

CHF er kendetegnet ved lave renteniveauer (se figur 10). Derfor opleves i perioder en markedsdrevet svækkelse af CHF gennem spekulativt salgspres på valutaen gennem carry. Helt konkret betyder det for vores carrystrategi, at vi er kort i valutaen over hele perioden. Samtidig er det ikke svært at finde sammenhænge mellem CHF-styrkelser og risikoaverse markeder på samme vis, som det ses i JPY. CHF er traditionelt en "safe haven"-valuta, som styrkes overfor EUR i perioder med øget markedsuro og geopolitisk risiko (husk også korrelationen med aktieindekset på -0,15 målt på månedlige merafkast over hele perioden). Vi så i marts 2020 også en styrkelse af CHF som følge af markedets bekymringer om omfanget af coronavirussen. Vi ser derfor enkelte positive momentumpositioner i vores portefølje over finanskrisen samt i perioder med markedsuro i første halvår af 2018. Fælles for disse positioner er imidlertid, at de delvist udlignes af de korte carrypositioner. CHF-positionerne i valueporteføljen er udelukkende negative og spænder mellem perioden 2002-2010, hvilket indebærer, at valutaen har været overvurderet overfor EUR. De negative positioner stopper delvist efter maj 2010, hvor den schweiziske centralbank (SNB) intervenerede i FX-markedet for at reducere overvurderingen af CHF, hvilket betød, at CHF blev svækket med 2% overfor EUR. Desuden udlignes de fleste valuepositioner af lange positioner fra momentumporteføljen undtagen perioden mellem 2013-2014. Vi ser enkelte samlede positive positioner efter 2015, hvor SNB d. 15 januar fjernede kursgrænsen i EUR/CHF, og CHF efterfølgende blev styrket. I alt ender vi med en gennemsnitlig negativ alphaposition i CHF med -12,4% primært drevet af korte carry- og valuepositioner.

GBP er som nævnt ikke en dominerende valuta i vores samlede alphaportefølje med en gennemsnitlig position på -1,4%. Carryeksponeringen er svag og næsten ikke eksisterende, da valutaen kun af få omgange identificeres som højrentevaluta jf. logikken i figur 10. Momentumbidraget er lige så usystematisk som i andre valutaer, hvilket betyder, at den gennemsnitlige momentumposition i GBP samlet set er -4,6%. Vi bemærker igen negative momentumpositioner under finanskrisen og i 2018, hvor GBP underperformer andre valutaer. Samme mønstre kan vi finde i GBP under coronakrisen 2020, hvor det handelsvægtede pund er faldet til rekordlavt niveau – lavere end både niveauet under Brexit-perioden og finanskrisen. Prisfastsættelsen af GBP har yderligere været præget af markedsuro med bekymring om økonomisk og politisk ustabilitet i forbindelse med Brexit. Vi ser overvejende negative momentumpositioner efter 23. juni 2016, hvor briterne stemte nej til EU. Den gennemsnitlige negative momentumeksponering i GBP er ligeledes drevet af negative positioner i 2018 efter, at Theresa May officielt meddelte, at Storbritannien ville forlade EU.

USD er på trods af den gennemsnitlige alphaposition på -3,3% ikke uden betydning i både momentum, carry og value. De gennemsnitlige positioner er hhv. -11,6% (carry), -13,8% (momentum) og 15,0% (value). Vi ser generelt, at value udligner flere af de negative positioner i både momentum og carry. Valuestrategien medtager USD af fire omgange, da valutaen er stærkt undervurderet ift. købekraftspariteten overfor EUR. Under finanskrisen ser vi lange momentum- og valuepositioner i USD. Resultatet er primært drevet af den klassiske "safe haven"-effekt, som styrker USD i tider med mar-

kedsuro. Udbruddet af coronavirussen bekræfter valutaens "safe haven"-status med voldsom styrkelse af den handelsvægtede dollar. I løbet af marts 2020 har virksomheder efterspurgt USD-likviditet, og investorer har søgt mod den amerikanske valuta grundet valutaens tendens til at blive styrket i tider med høj markedsvolatilitet. Standard Chartered Bank har nævnt, at valutaen er blevet et "[...] barometer for effektiviteten af den politiske reaktion på virksomhedernes kreditvanskeligheder og interbankfinansieringsudfordringer" (Financial Times, d. 27. marts 2020). Centralbanker har af denne grund prøvet at imødekomme efterspørgslen på USD for at forhindre likviditetsproblemer. Man har set, at globale finansielle institutioner har efterspurgt USD i så høj en grad, at Fed har været nødt til at udvide swaplinjer med centralbanker i bl.a. Brasilien, Mexico, Danmark og Sverige (Financial Times, 19. marts 2020, 27. marts 2020). USD har bevæget sig så højt under coronakrisen, at flere analytikere har advaret om risikoen for, at centralbanker ville intervenere i FX-markedet og sælge USD direkte for at svække valutaen. Trods "safe haven"-egenskaben i USD udlignes positionerne i vores portefølje under finanskrisen delvist af korte carrypositioner med USD som lavrentevaluta jf. figur 10. Sidst i stikprøveperioden ser vi positive positioner gennem både momentum og carry (fra 2015-2019). Resultatet skyldes uden tvivl, at USD har været understøttet af høje renter, positive rentespænd og kapitalstrømme fra bl.a. Europa ved bekymring om handelskrigen mellem USA og Kina.

6.4 MPMVO

Som beskrevet i afsnit 5.1 kan den samlede optimale portefølje, den modificerede middelværdi-variansportefølje (MPMVO), konstrueres ved en sammensætning af en hedged aktieportefølje, EQ, og en optimal valutaportefølje bestående af en variansminimerende komponent, FXHEDGE, og en Sharpe ratio-maksimerende komponent, FXALPHA, ved:

$$\text{MPMVO} = \underbrace{\text{EQ} + \text{FXHEDGE}}_{\text{MINVAR}} + k^* \, \text{FXALPHA}$$

hvor den optimale vægt k^* kan skrives ved $k^* = \sigma_{\text{EQ}}\left(\frac{1-\rho^2_{\text{FXHEDGE,EQ}}}{\text{SR}_{\text{EQ}} - \rho_{\text{FXALPHA,EQ}}\,\text{SR}_{\text{FXALPHA}}}\right)$, og de første to komponenter i den samlede MPMVO kombineret giver MINVAR-porteføljen. Dekomponeringen af valutaporteføljen giver forståelse for de enkelte valutaers bidrag i optimeringen. Investoren får mulighed for at identificere, om valutapositionerne skyldes enten 1) hedging- eller 2) alphaoptimering. Delkomponenterne har veldefinerede målsætninger, og investorer har derfor mulighed for selv at tilpasse komponenterne til egne behov og kapacitetsbegrænsninger. Denne fleksibilitet indebærer også muligheden for at justere de investorspecifikke præferencer såsom begrænsninger på forskellige risikoparametre som gearing, turnover, skævhed og volatilitet.

I dette afsnit præsenterer vi resultaterne for vores endelige MPMVO-portefølje. Vores portefølje er konstrueret på baggrund af de endelig valg af MINVAR- og FXALPHA-porteføljer præsenteret i tidligere afsnit. Det er igen vigtigt at understrege, at fremgangsmetoden til bestemmelse af delkomponenterne kan variere. Der er ikke et entydigt korrekt svar, da valget i meget høj grad vil afhænge af valget af bibetingelser for den enkelte investor. I FXHEDGE har investoren valget mellem Robust og Optimized tilgang og skal ligeledes tage stilling til enten statisk eller dynamisk (tidsvarierende) hedging. I FXALP-

HA skal investoren beslutte, hvilke faktorer, der ønskes at inkluderes og med hvilke allokeringsregler, de skal implementeres. Investoren skal desuden vælge frekvensen for rebalancering af porteføljens sammensætning, gearingsniveau, volatilitet mv.

Før vi præsenterer MPMVO-resultaterne, er vi nødt til at adressere k^*. Bestemmelsen af k^* kræver per konstruktion antagelser om de individuelle Sharpe ratios for hhv. EQ- og FXALPHA-porteføljen. Tilgangen i Boudoukh et al. (2019) er at antage $\mathrm{SR}_{\mathrm{EQ}} = 0{,}5$ og $\mathrm{SR}_{\mathrm{FXALPHA}} = 0{,}3$ over hele tidsperioden. De understreger samtidig, at investorer kan benytte egne antagelser om de to størrelser – de kan enten være tidsvarierende eller statiske. Estimater på 0,5 og 0,3 er ikke intuitive for en EUR-baseret stikprøve (ift. USD), omend resultaterne for MPMVO-porteføljen med disse størrelser også er pæne. Vi har imidlertid anvendt empiriske estimater for de to størrelser (hhv. 0,3 og 0,6). Det er vigtigt at bemærke, at jo større FXALPHAs Sharpe ratio er i forhold til Sharpe ratio-forholdet i EQ, desto større rolle spiller alphaporteføljen i den samlede MPMVO-portefølje. Jo højere Sharpe ratio i EQ, jo mere konservativ vil porteføljesammensætningen derfor være. Investorer skal i praksis derfor tage stilling til, hvor meget FXALPHA-eksponering, der ønskes. I vores tilfælde spiller FXALPHA-porteføljen en større rolle i den samlede MPMVO-portefølje sammenlignet med AQRs portefølje for en USD-baseret investor.

I tabel 12 præsenterer vi de empiriske resultater for vores samlede MPMVO-portefølje, delkomponenterne FXHEDGE, MINVAR og FXALPHA og de tilhørende benchmarkporteføljer, den hedgede aktieportefølje (EQ) og den uafdækkede aktieportefølje (EQU). Vi bemærker, at det afkastmæssigt ikke er en fordel at holde den EUR-hedgede aktieportefølje, EQ, sammenlignet med den uafdækkede aktieportefølje, EQU. EQU producerer i gennemsnit et årligt merafkast på 5,22%, mens EQ giver 5,12%. Det skyldes især, at EQU outperformer EQ i slutningen af stikprøveperioden. Volatiliteten er imidlertid lavere i EQ (15,76%) sammenlignet med EQU (16,30%), hvorfor et 100% hedge af valutaeksponeringen reducerer volatiliteten i aktieporteføljen. Sharpe ratios i de to porteføljer er omtrentligt ens med hhv. 0,32 og 0,33. Selvom EQU har den laveste Sharpe ratio, har porteføljen en højere Sortino Ratio (0,41 vs. 0,39). Husk, at Sortino ratio måler det risikojusterede afkast på tilsvarende vis som en Sharpe ratio, men adskiller sig ved, at den kun måler volatilitet på negative afkast. Der er således en højere volatilitet på de negative afkast i EQ sammenlignet med EQU. EQ har generelt en lavere volatilitet men større drawdowns med en Maximum drawdown på -41,1% vs. -28,9% for EQU. En forklaring kan være, at valutapositionerne i den uafdækkede aktieportefølje har fungeret som naturligt hedge mod aktienedture i tider med markedsuro, herunder finanskrisen. Det skyldes blandt andet, at USD vægter tungt i verdensporteføljen (MSCI ACWI), og vi husker fra afsnit 6.3.4, at USD typisk har "safe haven"-status i tider med høj markedsvolatilitet, hvor valutaen har tendens til at blive styrket. EQ-porteføljen viser imidlertid mindre halerisiko, når vi sammenligner risikomål som VaR (7,17% vs. 7,29%) og ES (10,69% vs. 10,79%).

Mål	EQU	EQ	FXHEDGE	MINVAR	FXALPHA	MPMVO
Middelværdi	5,22%	5,12%	1,95%	7,17%	5,10%	8,44%
Volatilitet	16,30%	15,76%	9,62%	9,74%	7,99%	15,02%
Sharpe ratio	0,32	0,33	0,20	0,74	0,64	0,56
Sortino ratio	0,41	0,39	0,26	0,89	0,90	0,67
Skævhed	-0,89	-1,92	-0,24	-0,96	-0,34	-1,26
Max. drawdown	-28,90%	-41,1%	-17,9%	-33,6%	-18,7%	-37,3%
VaR(0,95)	7,29%	7,17%	1,92%	6,04%	2,98%	6,33%
ES(0,95)	10,79%	10,69%	3,08%	9,68%	4,94%	10,02%

Tabel 12: Afkast- og risikomål for 1) den uafdækkede internationale aktieportefølje, EQU, 2) 100% EUR-hedged internationale aktieportefølje, EQ, 3) valutaporteføljen, FXHEDGE, dannet ved Optimized dynamisk tilgang, 4) MINVAR-porteføljen med Optimized dynamisk FXHEDGE (EQ+FXHEDGE), 5) FXALPHA-porteføljen (ligevægtet portefølje af de tre faktorer momentum, carry og value) og 6) den sammensatte portefølje MPMVO (EQ+FXHEDGE+k^* FXALPHA). Den optimale vægt k^* er bestemt ved $k^* = \sigma_{\text{EQ}}\left(\frac{1-\rho^2_{\text{FXHEDGE,EQ}}}{\text{SR}_{\text{EQ}}-\rho_{\text{FXALPHA,EQ}}\,\text{SR}_{\text{FXALPHA}}}\right)$. Estimation af risikomålene Value-at-Risk (VaR) og Expected Shortfall (ES) er baseret på en ikke-parametrisk model ved beregning af fraktilen på de historiske merafkast, og der er således ingen fordelingsantagelser om valutamerafkastene. Middelværdi, volatilitet, Sharpe ratio og Sortino ratio er annualiserede. Alle mål er beregnet på merafkast over hele stikprøveperioden, 2002-2019.

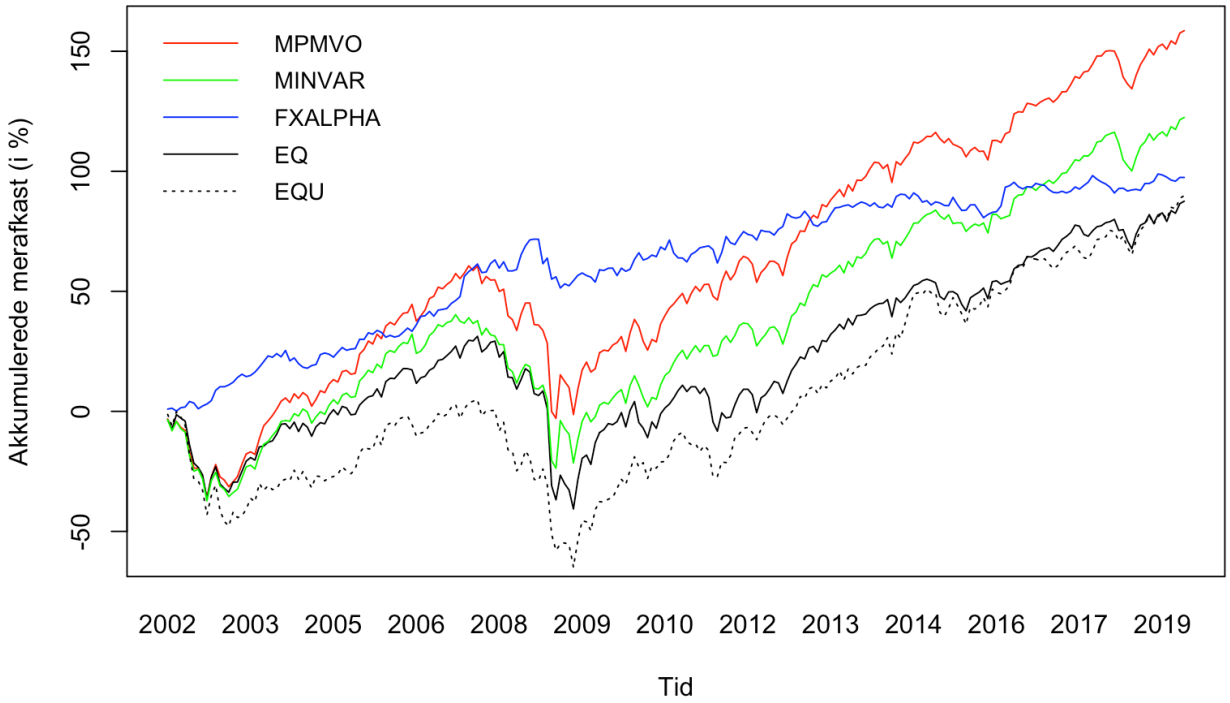
Konsistent med afsnit 6.2 ser vi, at MINVAR-porteføljen reducerer volatiliteten relativt til både EQU- og EQ-porteføljen til 9,74% fra hhv. 16,30% og 15,76%. Den konstruerede MINVAR-portefølje reducerer derfor den eksisterende aktievolatilitet i den samlede portefølje. Dette bør ikke overraske, da formålet med FXHEDGE-porteføljen er at reducere aktievolatiliteten ved at producere en maksimalt negativt korreleret valutaportefølje med aktieporteføljen. Fra tabellen ses også, at FXHEDGE har flere attraktive risikomål og lav halerisiko. Både skævhed (-0,24), Maximum drawdown (-17,9%), VaR (1,92%) og ES (3,08%) er lavest blandt de præsenterede porteføljer i tabellen. Overraskende ser vi også et forbedret absolut og risikojusteret afkast i MINVAR på trods af porteføljens variansminimerende formål. Resultatet afviger fra Boudoukh et al. (2019), hvilket i høj grad skyldes, at vores FXHEDGE-portefølje i gennemsnit producerer positive merafkast på 1,95% sammenlignet med deres model for en USD-baseret investor, hvor FXHEDGE-porteføljen har et annualiseret negativt merafkast på -0,9%. I vores tilfælde afgiver vi ikke et forventet afkast i reduktion af aktievolatiliteten. En del af forklaringen er, at vores dynamiske kovariansestimater er forskellige fra AQRs model. Husk fra afsnit 5.1, at vi foreslår beregningsgange af de dynamiske kovariansmatricer ved en dynamisk model for den estimerede correlation shrinkage modsat AQR, som anvender et fast estimat på 0,25 over hele tidsperioden. Correlation shrinkage er nødvendigt for at sikre inverterbare kovariansmatricer i optimeringsprocessen.

Vores simple justering af shrinkage-metoden sikrer, at vi automatisk producerer en positiv definit matrix med fuld rang og ikke-negative varianser. Samtidig understreger Boudoukh et al. (2019), at det ikke altid er tilfældet, at MINVAR-porteføljen reducerer volatiliteten på bekostning af det forventede afkast.

Resultaterne for FXALPHA-porteføljen blev introduceret i afsnit 6.3.4 (CMV-porteføljen). Porteføljen genererer pæne afkast med et selvstændigt højt risikojusteret afkast ved en annualiseret middelværdi på 5,10%, en volatilitet på 7,99% og en tilhørende Sharpe ratio på 0,64. Sharpe ratio fordobles sammenlignet med Sharpe ratios i aktieporteføljerne EQU og EQ på hhv. 0,32 og 0,33. Vi bemærker, at FXALPHA-porteføljens risikoegenskaber tilnærmelsesvis udviser samme karakteristika som FXHEDGE-porteføljen. Faktisk er volatiliteten lavere i FXALPHA end i både EQU og EQ, mens det gennemsnitlige annualiserede merafkast befinder sig lige under EQ-afkastet (5,12%). Da FXALPHA-porteføljen er ukorreleret med MINVAR-porteføljen (resultat fra afsnit 5.1), giver FXALPHA mulighed for at forbedre afkastet i den samlede MPMVO-portefølje.

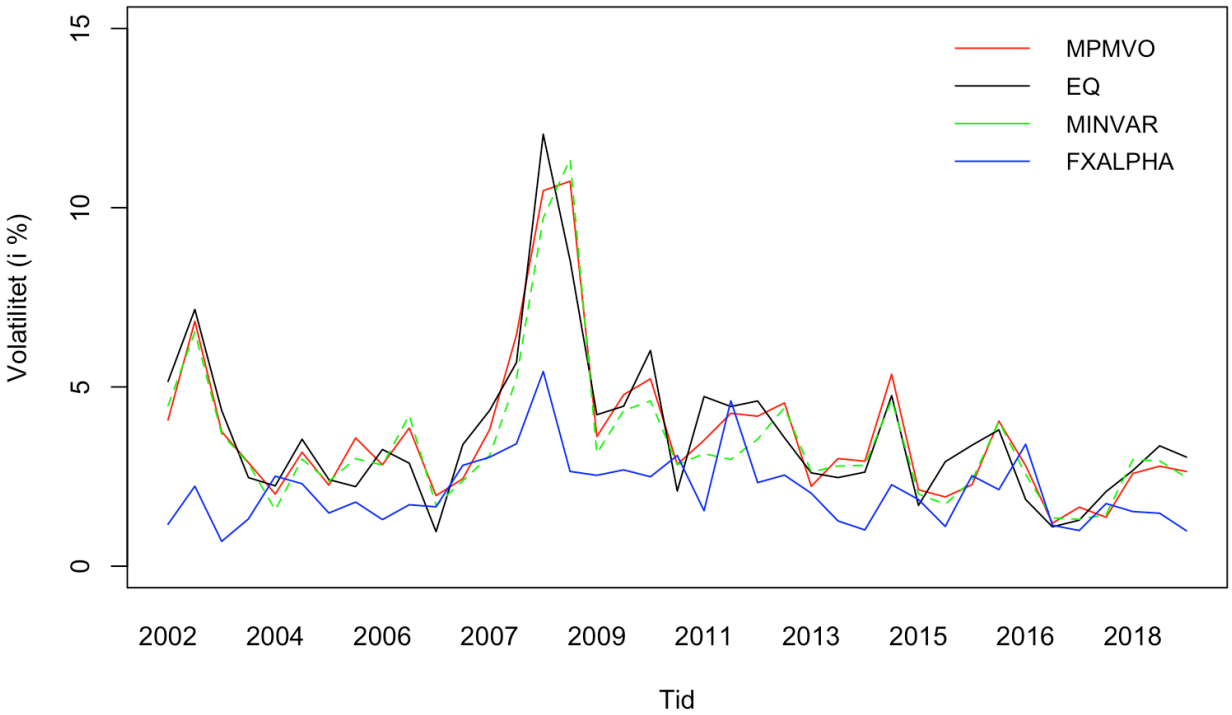
Tilføjer vi k^* FXALPHA til MINVAR-porteføljen dannes MPMVO-porteføljen, og vi ser, at Sharpe ratio-forholdet forøges til 0,56 sammenlignet med 0,33 i EQ, hvilket er en stigning på 70%. MPMVO producerer samtidig et højere afkast (8,44% vs. 5,12%) og en lavere volatilitet (15,02% vs. 15,76%) sammenlignet med en 100% hedged aktieportefølje, EQ (og er for fuldstændighedens skyld også bedre end den uafdækkede aktieportefølje, EQU). MPMVO producerer tilmed det højeste gennemsnitlige årlige merafkast sammenlignet med alle porteføljerne. Alle risikomål inklusiv skævhed (-1,26), Maximum drawdown (-37,3%), VaR (6,33%) og ES (10,02%) er lavere end i EQ-porteføljen. Resultaterne indebærer, at en middelværdi-varians-optimerende investor vil foretrække MPMVO-porteføljen over både EQ og EQU.

Figur 17 viser de akkumulerede merafkast for de fem præsenterede porteføljer: 1) MPMVO, 2) MINVAR (EQ + FXHEDGE), 3) FXALPHA, 4) EQ og 5) EQU. Vi ser tydeligt, at vores MPMVO-portefølje både outperformer den 100% hedgede aktieportefølje, EQ, og den uafdækkede aktieportefølje, EQU. Faktisk er det akkumulerede merafkast i MPMVO større end EQ-afkastet i 91,88% af hele stikprøveperioden målt på månedlige merafkast. Vi bemærker også, at MPMVO outperformer den 100% hedgede aktieportefølje, EQ, under finanskrisen. Sammenholdes resultatet med den lavere annualiserede volatilitet i MPMVO, er det tydeligt at se, at afkast-risiko-forholdet i en international aktieportefølje kan forbedres ved anvendelse af et aktivt forvaltet currency overlay gennem to selvstændige long-short FX-porteføljer ved MPMVO-modellen.



Figur 17: Tidsserier for de akkumulerede merafkast i porteføljerne MPMVO, MINVAR, FXALPHA, EQ og EQU over hele stikprøveperioden, 2002-2019. Data genereret ved egen kode.

Figur 18 illustrerer 6M rullende volatilitet for MPMVO, EQ, MINVAR og FXALPHA over hele stikprøveperioden. Som tabel 12 indikerede, bekræfter vi nu, at MINVAR-porteføljen generelt har lavere volatilitet end EQ-porteføljen. Den realiserede volatilitet i MINVAR-porteføljen er lavere end den realiserede volatilitet i EQ i 68,4% af perioden. MPMVO har i gennemsnit en lavere volatilitet end EQ-porteføljen. Som forventet er den gennemsnitlige volatilitet imidlertid højere end i MINVAR-porteføljen. Vi bemærker ligeledes det lave 6Ms rullende volatilitetsniveau over hele stikprøveperioden for FXALPHA-komponenten. Det lave volatilitetsniveau i porteføljen betyder, at det risikojusterede afkast fordobles fra EQ til FXALPHA. Det fremgår af figuren, at der er en tendens til, at MINVAR og FXALPHA følger de samme volatilitetsmønstre som EQ parallelforskudt af hinanden.



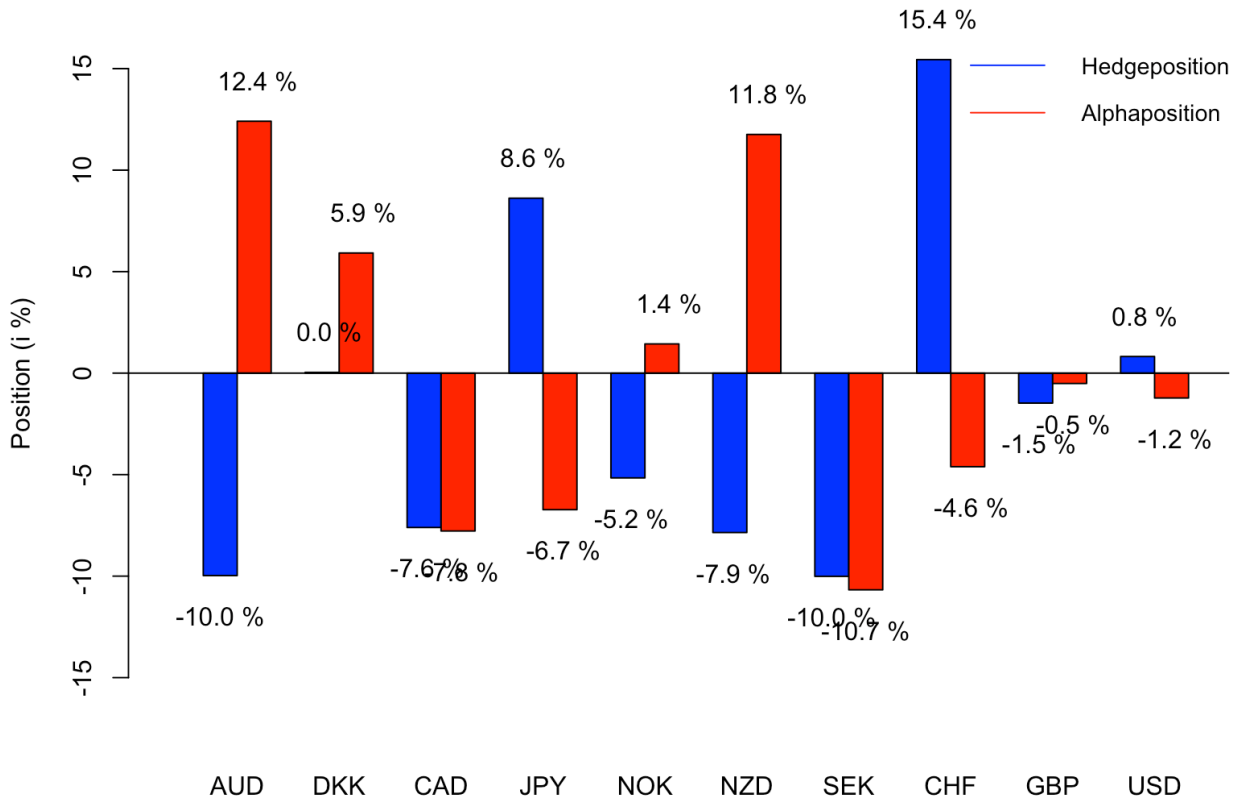
Figur 18: 6M rullende volatilitet for MPMVO-, EQ-, MINVAR- og FXALPHA-porteføljen i perioden 2002-2019. Data genereret ved egen kode.

I figur 19 viser vi de gennemsnitlige hedge- og alphapositioner i den samlede optimerede MPMVO-portefølje. Bemærk, at vi tidligere har præsenteret valutapositionerne i de enkelte delkomponenter FXHEDGE og FXALPHA (i hhv. afsnit 6.2 og 6.3.4), men nu introducerer bidragene i den samlede MPMVO-portefølje. Kombinationen giver os et indblik i, hvordan de enkelte valutaer hver især bidrager til de separate valutakomponenter.

Vi bemærker først de gennemsnitlige negative positioner i CAD (-15,4%) og SEK (-20,7%). Det er interessant, at de korte positioner både er drevet af negative hedge- og alphapositioner. Resultatet skyldes, at begge valutaer er positivt korrelerede med EQ (hh. 0,33 og 0,34), og at der optages store negative positioner gennem FXALPHA ved korte valuepositioner i CAD og korte momentum- og carrypositioner i SEK. Omvendt tager vi i gennemsnit en større positiv position i CHF (10,8%) drevet af hedgeporteføljen, hvilket er konsistent med valutaens negative korrelation med EQ-afkastet på -0,15 dokumenteret i tabel 4.

Vi bemærker også, at hedgepositionerne i AUD og NZD i gennemsnit er negative grundet de positive korrelationer med EQ-afkastet (hhv. 0,50 og 0,38). De gennemsnitlige korte positioner gennem hedgeporteføljen udlignes imidlertid af deres tilhørende alphapositioner. Investoren vil i gennemsnit derfor være lang i valutaerne med hhv. 2,4% og 3,9%. Resultatet er ikke overraskende, da vi tidligere har set i afsnit 6.3.4, at vi tager store positioner i valutaerne primært gennem vores carryporteføjle. Faktisk er de gennemsnitlige FXALPHA-positioner i AUD og NZD hhv. 33,5% og 31,7%.

Investoren holder i gennemsnit en mindre positiv position i JPY (1,9%), hvilket er drevet af en gennemsnitlig lang position i hedgeporteføljen (jf. JPYs negative korrelation med EQ på -0,40). Selvom der både tages lange positioner i AUD og JPY, og de har modsatte fortegn i en carrystrategi, er den svage korrelation mellem valutaerne ($\rho_{\text{AUD,JPY}} = 0{,}01$) med til at skabe et indbyrdes naturligt hedge. Denne egenskab gør det ønskeligt at holde begge valutaer i den samlede portefølje. Samme argument kan bruges om USD og SEK, da vi samlet tager korte positioner i begge valutaer, og de indbyrdes har en negativ korrelation (-0,002). Resultatet stemmer overens med vores tidligere argument i afsnit 6.2 om at anvende en optimeret tilgang til bestemmelse af FXHEDGE: Optimized udnytter alle elementer i $\mathbf{\Sigma}_{\text{FX}}$ og $\mathbf{\Sigma}_{\text{EQFX}}$ til at minimere den samlede aktievolatilitet. Vi oplever derfor flere tilfælde, hvor FXHEDGE og FXALPHA komplementerer hinanden i den samlede portefølje.



Figur 19: Gennemsnitlige hedge- og alphavægte i alle valutaer for den endelige MPMVO-portefølje. Data genereret ved egen kode.

7 Modelrobusthed

De præsenterede resultater i afsnit 6.4 taler for MPMVO, men spørgsmålet er nu, om modellen er robust under andre betingelser. I dette kapitel undersøger vi robustheden af vores empiriske resultater. Helt konkret præsenterer vi resultaterne for MPMVO-porteføljen, når vi 1) justerer begrænsninger og input i modellen, 2) måler over delstikprøver og indflydelsesrige observationer og 3) tager højde for turnover og transaktionsomkostninger.

Robusthed er også et spørgsmål om out-of-sample inferens, som både kan vedrøre 1) et nyt valg af indenlandsk valuta, 2) et nyt valg af underliggende aktivklasse og 3) et nyt valg af tidsperiode. Som udgangspunkt er en indenlandsk valuta selvsagt påkrævet som numeraire for at implementere modellen, men løsningsmetoderne er generiske og gælder for investorer i alle lande. Boudoukh et al. (2019) præsenterer eksempelvis resultater for en MPMVO-portefølje med en USD-baseret investor. Samtidig er vores resultater en undersøgelse af hedging af valutarisiko i internationale aktieporteføljer, men samme tilgang kan implementeres for andre finansielle aktiver, herunder fixed income (Boudoukh et al., 2019, s. 81). Valget af tidsperiode er også en naturlig overvejelse i undersøgelse af modelrobustheden og afhænger af datatilgængelighed, investorpræferencer og kapacitetsbegrænsninger. Det er relevant at udsætte en model for stresstestscenarier ved at simulere resultater over større makroøkonomiske hændelser. I den forbindelse undersøger vi effekten af den aktuelle krise som følge af coronavirus.

7.1 Gearing og rebalanceringer

I nedenstående tabel 13 præsenterer vi resultaterne for MPMVO-porteføljen ved begrænsninger på 1) antallet af rebalanceringer og 2) gearingsniveauet. Rebalanceringsfrekvensen ændres fra månedlig til kvartalsvis, og gearingsniveauet i valutaporteføljerne begrænses til $\leq 100\%$ i alle delperioder. Gearingen defineres ved summen af porteføljevægtene divideret med to konsistent med AQR (Boudoukh et al., 2019, s. 77). Begrænsningerne er implementeret for hele stikprøveperioden, 2002-2019.

Mål	MPMVO	Rebalancering (kvartal)	Gearingsbegrænsning
Middelværdi	8,44%	8,02%	6,77%
Volatilitet	15,02%	15,46%	14,55%
Sharpe ratio	0,56	0,52	0,47
Sortino ratio	0,67	0,49	0,55
Skævhed	-1,26	-1,95	-1,07
Gearing	1,4	1,4	1,0
Max. drawdown	-37,3%	-48,5%	-34,9%
VaR(0,95)	6,33%	6,68%	6,13%
ES(0,95)	10,02%	11,29%	11,40%

Tabel 13: Modelrobusthed i MPMVO. Tabellen viser resultaterne for MPMVO-porteføljen ved to begrænsninger: 1) rebalancering af porteføljen ændres fra månedlig til kvartalvis og 2) gearingsgraden i valutaporteføljerne begrænses til $\leq$ 100% i alle delperioder. Alle mål er beregnet for hele stikprøveperioden, 2002-2019.

En ændring til kvartalsvise rebalanceringer medfører et mindre fald i det annualiserede merafkast (8,02%) og en mindre stigning i det annualiserede volatilitetsniveau (15,46%). Det betyder, at Sharpe ratio og Sortino ratio falder fra hhv. 0,56 til 0,52 og fra 0,67 til 0,49. Vi ser, at begrænsningen forværrer risikomålene, hvor både Maximum drawdown (-48,5%), VaR (6,68%) og ES (11,29%) er (numerisk) større end i vores oprindelige MPMVO. Resultaterne er primært drevet af den manglende fleksibilitet under finanskrisen ved kvartalsvis FX-positionering. Ikke overraskende oplever vi, at turnover reduceres. Resultatet vil blive behandlet i afsnit 7.3. Begrænsning på antallet af rebalanceringer ændrer fortsat ikke vores konklusion om, at MPMVO-porteføljen outperformer EQ og EQU.

Tabellen viser også, at det gennemsnitlige gearingsniveau i den oprindelige MPMVO-portefølje er 1,4. En begrænsning af gearingen under dette niveau vil derfor være bindende i en optimal løsning. Gearing er et værktøj, vi kan anvende til at forstørre potentielle gevinster og tab givet en bestemt mængde kapital. Brugen af gearing kan øge afkastet men også forhøje volatiliteten, hvilket er nøjagtigt, hvad vi ser for MPMVO-porteføljen. Gearingsbegrænsningen medfører, at porteføljen oplever mindre ekstreme halehændelser. Det betyder, at både annualiseret middelværdi (6,77%) og volatilitet (14,55%) falder fra sit oprindelige niveau. Det større fald i merafkastet relativt til faldet i volatilitetsniveauet betyder, at Sharpe ratio falder fra 0,56 til 0,47. Husk også, at vores portefølje har en større eksponering mod den Sharpe ratio-maksimerende FX-portefølje, som i gennemsnit er gearet (jf. tabel 11), og derfor vil en begrænsning ikke overraskende medføre en reduktion af det risikojusterede afkast i den samlede portefølje. Trods en begrænsning på gearingsniveauet ser vi stadig, at MPMVO outperformer både EQ og EQU jf. afkast- og risikomålene dokumenteret i tabel 12. Resultaterne for rebalancerings- og gearingsbegrænsningerne tyder fortsat godt for modellens anvendelighed.

7.2 Delstikprøver

I tabel 14 har vi dekomponeret resultaterne for MPMVO-porteføljen i fire forskellige delstikprøver. Tabellen dokumenterer afkast- og risikomål for uafhængige delstikprøver uden overlap for hele tidsperioden fra 2002-2019. Delstikprøverne er sammensat således, at de løber fra start til slut i de angivne perioder.

Mål	**2002-2019**	2002-2006	2007-2010	2011-2015	2016-2019
Middelværdi	8,44%	10,20%	-7,21%	14,54%	10,82%
Volatilitet	15,02%	12,87%	25,03%	13,38%	9,43%
Sharpe ratio	0,56	0,79	-0,29	1,09	1,15
Sortino ratio	0,67	1,16	-0,32	1,86	1,99
Skævhed	-1,26	-0,53	-1,04	-0,29	0,05
Max. drawdown	-37,3%	-15,9%	-37,3%	-15,5%	-14,86%
VaR(0,95)	6,33%	6,31%	11,10%	5,87%	3,39%
ES(0,95)	10,02%	7,84%	19,87%	6,83%	4,49%

Tabel 14: Resultater for den sammensatte MPMVO i fire forskellige delstikprøver. Tidsperioderne er sammensat uden overlap, således at første delstikprøve løber fra start 2002 til slut 2006, anden delstikprøve løber fra start 2007 til slut 2010, tredje delstikprøve løber fra start 2011 til slut 2015 og sidste delstikprøve løber fra start 2016 til slut 2019. For hver delstikprøve er både afkast- og risikomål angivet.

Generelt bekræfter delprøveresultaterne de fordelagtige afkast- og risikoegenskaber, der opnås ved at tilføje optimale valutapositioner til sin aktieportefølje med MPMVO-modellen. MPMVO outperformer EQ i samtlige delstikprøver. Som forventet ser vi negative merafkast under finanskrisen målt over perioden 2007-2010. Volatilitetsniveauet er 25,03%, hvilket er betydeligt højere end i nogle af de resterende delstikprøver. Faktisk er volatilitetsniveauet over 2,5 gange højere end i delstikprøven med det laveste volatilitetsniveau (9,43% i 2016-2019). Både Sharpe ratio (-0,29) og Sortino ratio (-0,32) er negative over perioden. Til sammenligning producerer EQ i samme periode et gennemsnitligt annualiseret merafkast på -8,14%, et volatilitetsniveau på 25,51% og en tilhørende Sharpe ratio på -0,32. Risikomålene i MPMVO som Maximum drawdown (-37,3%), VaR (11,10%) og ES (19,87%) er større end i de resterende delstikprøver, hvorfor porteføljen ikke overraskende udviser mere halerisiko i perioden. Risikomålene er fortsat pænere end i EQ. Resultaterne for perioden taler for aktiv hedging af valutarisiko ved MPMVO i perioder med markedsuro, hvilket primært er drevet af MINVAR, som sikrer minimering af aktievolatiliteten (se bl.a. tabel 5) og valuestrategien, som performer i perioder med forhøjet markedsvolatiltet (se bl.a. figur 14).

Det største gennemsnitlige annualiserede merafkast i MPMVO opnås under delstikprøven fra 2011-2015

med 14,54%. Sammenlignes resultatet med merafkastet i EQ (9,55%), øges afkastet med 52%, mens volatilitetsniveauerne er omtrentligt ens på hhv. 13,68% i EQ og 13,38% i MPMVO. Dette indbærer en forøgelse i Sharpe ratio på 56% fra 0,70 i EQ til 1,09 i MPMVO. Risikomål som skævhed, Maximum drawdown, VaR og ES er også forbedrede i MPMVO over perioden. Både MPMVO og EQ performer bedst i perioden 2016-2019 målt på risikojusterede afkast. Porteføljerne har i perioden Sharpe ratios på hhv. 1,15 og 0,87. Vi bemærker, at perioden er den eneste periode, hvor afkastfordelingen for MPMVO-porteføljen udviser positiv skævhed (0,05). Til sammenligning har EQ-porteføljen over samme periode en skævhed på -0,22. Risikomålene Maximum drawdown, VaR og ES er numerisk mindre end i de resterende delstikprøver for både MPMVO og EQ. Eksempelvis falder VaR og ES i MPMVO med hhv. 69% og 77% fra 2007-2010 til 2016-2019. Delstikprøven 2002-2006 afviger ikke signifikant på nogle afkast- eller risikomål sammenlignet med de resterende stikprøver. Derimod bemærker vi en betydelig forskel i resultaterne mellem MPMVO og EQ for perioden. MPMVO og EQ producerer gennemsnitlige annualiserede merafkast på hhv. 10,20% og 4,37%, mens volatilitetsniveauerne er hhv. 12,87% og 12,77%. MPMVO producerer således et gennemsnitligt annualiseret merafkast, der er 2,3 gange større end EQs under det omtrentligt samme volatilitetsniveau. Resultatet betyder, at Sharpe ratio forøges med 132% fra 0,34 i EQ til 0,79 i MPMVO. Maximum drawdown, VaR og ES er ligeledes markant bedre i MPMVO-porteføljen i denne delstikprøve.

En formel sammenligning af porteføljerne MPMVO, EQ og EQU besværliggøres af særligt én gruppe af indflydelsesrige observationer – finanskrisen. Fjerner vi observationerne fra den samlede stikprøveperiode, får vi resultaterne dokumenteret i tabel 15. Perioden for finanskrisen er et definitionsspørgsmål, og den empiriske litteratur betragter ofte forskellige perioder. Vi følger definitionen fra den amerikanske forskningsorganisation The U.S. National Bureau of Economic Research ("The official arbiter of U.S. recessions"), som har til opgave at definere start- og slutdatoer for amerikanske recessioner. Finanskrisens periode defineres som december 2007 til juni 2009 (NBER, u.å.). Ikke overraskende ser vi, at det gennemsnitlige annualiserede merafkast øges ved at ekskludere finanskrisen for MPMVO-porteføljen fra 8,44% til 12,01%, mens volatiliteten reduceres fra 15,02% til 11,95%. Sharpe ratio stiger af denne grund fra 0,56 til 1,01. Skævheden falder fra -1,26 til -0,33, og Maximum drawdown falder med 55,77% fra -37,3% til -16,5%. Ligeledes reduceres risikomålene VaR (6,33% vs. 5,04%) og ES (10,02% vs. 7,08%). Resultaterne for risikomålene er ikke overraskende, da skævhed og kurtosis er stærkt følsomme overfor outliers. De overordnede konklusioner om fordelene ved MPMVO er fortsat uændret. Betragter vi EQ og EQU uden finanskrisen, ser vi ligeledes en stigning i afkastet fra 5,12% til 8,43% i EQ og 5,22% til 8,35% i EQU. Volatilitetsniveauet i de to porteføljer reduceres fra 15,76% til 12,15% i EQ og fra 16,30% til 12,99% i EQU. Ved at ekskludere finanskrisen, ser vi, at det nu afkastmæssigt er en fordel at holde den EUR-hedgede aktieportefølje, EQ, vs. EQU. Vi bemærker ligeledes, at volatiliteten i EQ fortsat er lavere sammenlignet med volatiliteten i EQU. Det betyder, at et 100% hedge af valutaeksponeringen fortsat reducerer volatiliteten i aktieporteføljen ved ekskludering af finanskrisen. Sharpe ratio stiger både for EQ (0,69 vs. 0,33) og EQU (0,64 vs. 0,32), mens skævheden reduceres betydeligt på tilsvarende vis som i MPMVO. Overraskende er Maximum drawdown nu numerisk mindre for EQ (-19,5%) end i EQU (-19,7%), hvilket ikke var tilfældet under finanskrisen. En sammenligning af de tre porteføljer, MPMVO, EQ og EQU uden finanskrisen viser fortsat, at en middelværdi-varians-optimerende investor

vil foretrække MPMVO over både EQ og EQU. Helt konkret ser vi, at MPMVO øger Sharpe ratio-forholdet med hhv. 46% og 58% i forhold til EQ og EQU, (1,01 vs. 0,69 og 0,64). Bemærk også, at EQ og EQU fordobler deres Sharpe ratio-forhold ved ekskludering af finanskrisen jf. sammenligning med tabel 12 i afsnit 6.4, hvilket ikke er tilfældet for MPMVO, som forøger Sharpe ratio med 80% fra 0,56 til 1,01. Effekten af at ekskludere finanskrisen er således større for EQ og EQU målt på risikojusterede afkast. Vi bemærker også, at både skævhed, Maximum drawdown og ES fortsat er lavere for MPMVO sammenlignet med både EQ og EQU, mens VaR-niveauet i EQU (4,83%) er det eneste mål blandt risikomålene i EQ og EQU, som er mindre end i MPMVO.

		ekskl. finanskrisen		
Mål	MPMVO	MPMVO	EQ	EQU
Middelværdi	8,44%	12,01%	8,43%	8,35%
Volatilitet	15,02%	11,95%	12,15%	12,99%
Sharpe ratio	0,56	1,01	0,69	0,64
Sortino ratio	0,67	1,57	0,97	0,92
Skævhed	-1,26	-0,33	-0,50	-0,49
Max. drawdown	-37,3%	-16,5%	-19,5%	-19,7%
VaR(0,95)	6,33%	5,04%	5,65%	4,83%
ES(0,95)	10,02%	7,08%	7,89%	8,46%

Tabel 15: Afkast- og risikomål for MPMVO sammenlignet med MPMVO, EQ og EQU i stikprøver uden finanskrisen (defineret som dec 07–jun 09).

7.3 Transaktionsomkostninger

Vores valutaporteføljer involverer rebalancering af positionerne i de enkelte valutaer afhængigt af signalerne fra allokeringsreglerne. Rebalanceringer indebærer løbende transaktionsomkostninger. Effekten af transaktionsomkostninger er derfor en væsentlig overvejelse i vurderingen af dynamiske hedgingstrategier. I dette afsnit undersøger vi muligheden for, at transaktionsomkostninger reducerer fordelene ved aktiv hedging af valutarisiko i internationale aktieporteføljer med MPMVO. Vi præsenterer resultaterne for MPMVO ved beregning af turnover og efter estimerede transaktionsomkostninger ved både månedlig og kvartalsvis rebalancering.

Tabel 16 rapporterer turnover og estimerede transaktionsomkostninger. Beregningerne er foretaget for hele stikprøveperioden. Turnover er udregnet på månedlig basis ved ligning 2.1, mens de estimerede transaktionsomkostninger er annualiserede og bestemt ved ligning 2.2. Vi estimerer gennemsnitlige bid-ask spreads for samtlige valutaer ved ugentlige kvoterede spreads fra hele stikprøveperioden indhentet

fra Bloomberg (BBG). Det er vigtigt at understrege, at de beregnede gennemsnitlige bid-ask spreads er konservative estimater, da de estimeres højere, end hvad de fleste investorer vil opleve i praksis. Lyons (2001) viser, at kvoterede spreads typisk vil være dobbelt så store som inter-dealer spreads. Det er ikke trivielt at tage højde for transaktionsomkostninger i FX-markedet. Kvoterede Bloomberg bid-ask spreads er kun indikative, da intet er i faste rammer jf. fragmenteringen af spotmarkedet mellem det primære marked, sekundære platforme og interbank-mæglere som BGC, ICAP og Tullets. OTC-markedet betyder, at de handlede priser ikke er offentligt tilgængelige. Derudover er de effektive spreads generelt lavere end det kvoterede spread, da handler typisk foretages under efficiente spreads på ethvert tidspunkt, hvilket indebærer, at større spreads ikke vil blive handlet. Den empiriske litteratur anvender ofte et gennemsnit af de kvoterede spreads. Disse spreads er imidlertid højere end de effektive spreads, og derfor anvender flere empiriske artikler en 50% skalering af de kvoterede bid-ask spreads som approksimation af de effektive spreads (se bl.a. Goyal & Saretto (2009) og Menkhoff et al. (2016)). Selv denne approksimation anses for at være konservativ. Gilmore & Hayashi (2011) finder, at transaktionsomkostningerne generelt vil være mere end 50% lavere end omkostninger udregnet ved de kvoterede spreads. Vores resultatbehandling tager udgangspunkt i de fulde kvoterede bid-ask spreads (100% BBG-skalering), men vi dokumenterer også resultaterne for transaktionsomkostninger ved antagelsen om, at de effektive spreads er 50% af de kvoterede (50% BBG-skalering) i tabel 16. At antage, at de effektive spreads er mindre end de kvoterede spreads, vil naturligvis forstærke vores resultater.

		Transaktionsomkostninger	
Mål	Turnover	100% BBG-skalering	50% BBG-skalering
$MPMVO_{1M}$	2,49	2,64%	1,32%
$MPMVO_{3M}$	1,16	1,43%	0,72%

Tabel 16: Månedlig turnover og årlige transaktionsomkostninger for MPMVO ved hhv. 1M og 3M rebalancering af porteføljen. Transaktionsomkostningerne er skaleret hhv. 100% og 50% ift. de estimerede bid-ask spreads baseret på gennemsnitlige kvoterede spreads indhentet fra Bloomberg (BBG).

Ikke overraskende ser vi en reduktion i turnover (fra 2,49 til 1,16), når vi ændrer rebalanceringsfrekvensen fra 1M til 3M. Med udgangspunkt i de kvoterede spreads (100% BB-skalering) ser vi naturligt også en reduktion i transaktionsomkostningerne (fra 2,64% til 1,43%). Efter transaktionsomkostninger ser vi fortsat, at MPMVO genererer meningsfulde merafkast ift. EQ under både månedlig og kvartalsvis rebalancering. Fratrækkes omkostningerne fra resultaterne i MPMVO-porteføljerne, fås en reduktion i de gennemsnitlige annualiserede merafkast i månedlig og kvartalsvis rebalancering på hhv. 31% og 22%. Sharpe ratio for MPMVO med månedlig rebalancering reduceres til 0,39, mens Sharpe ratio for MPMVO kvartalsvis rebalancering reduceres til 0,42 for hele tidsperioden vs. Sharpe ratio på 0,33 i EQ. Vi bemærker også, at det risikojusterede afkast efter omkostninger ved en kvartalsvis rebalancering er større end ved månedlig rebalancering. Begge porteføljer outperformer således EQ og EQU

efter de konservativt estimerede transaktionsomkostninger målt over hele stikprøveperioden. Udelades finanskrisen fra stikprøven reduceres Sharpe ratio i MPMVO ved månedlig rebalancering til 0,79 vs. Sharpe ratio i EQ på 0,69.

Bemærk også, at en Optimized tilgang til bestemmelse af MINVAR-porteføljen kræver estimation af en stor mængde parametre i kovariansmatricerne, hvilket betyder, at estimaterne vil være behæftet med usikkerhed. Usikkerheden medfører en større sandsynlighed for oscillationer i valutavægtene sammenlignet med en Robust tilgang, som kun kræver ét estimat for den samlede valutapulje. Det resulterer i, at turnover i en Optimized MINVAR i de fleste tilfælde vil være større end i en Robust MINVAR. Turnover i de enkelte faktorstrategier momemtum (2,06), carry (0,49) og value (2,00) spiller ligeledes en rolle og blev tidligere behandlet i afsnit 6.3.4. Det er ikke overraskende, at momentum og value generelt producerer højere turnover end carry grundet strategiernes usystematiske natur og carrystrategiens dominerende høj- og lavrentevalutaer. Vi understreger, at det fortsat ikke er fordelagtigt at udelade enkelte faktorstrategier i den samlede FXALPHA-portefølje efter transaktionsomkostninger. Resultatet skyldes, at diversifikationseffekten på afkastet i en ligevægtet portefølje opvejer fordelene ved kun at inkludere enkelte faktorstrategier med lav turnover og lavere transaktionsomkostninger.

7.4 Coronavirus

Den nuværende coronakrise er unik på mange måder, og i modsætning til finanskrisen 2007-2009 kommer chokket ikke fra den finansielle sektor. Flere af reaktionsmønstrene har imidlertid været ens mellem de to kriser, og de finansielle markeder har reageret med høj volatilitet (og forbedrede optionspræmier), lavere risikovillighed, kraftige fald i aktivpriserne, udvidelse af kreditspændene og reprisning af pengemarkedskurverne. Samtidig understøttes den øgede markedsturbulens af krisens sammenfald med en priskrig mellem to af verdens største olieproducenter, Rusland og Saudi-Arabien, hvilket har medført kraftige fald i priserne på råolie og benzin. De fleste er nu allerede bekendt med de kraftige fald på aktiemarkederne, men bevægelser i FX-markedet kan ligeledes fortælle os om det nuværende markedsmiljø. I afsnit 6.3.4 introducerede vi flere ligheder mellem de underliggende faktorer under finanskrisen og coronakrisen. FX-strategierne momentum, carry og value var i stand til at identificere mønstre i valutamarkedet under finanskrisen, som også gør sig gældende under den aktuelle coronakrise. I dette afsnit undersøger vi nærmere, hvordan coronavirussen påvirker vores resultater for MPMVO-modellen. Resultaterne er baseret på første kvartal af 2020, hvorfor senere indflydelsesrige begivenheder (som negative WTI-futures (amerikanske oliepriser)) ikke vil være inkluderet.

I første kvartal af 2020 har FX-markedet været præget af globale kapitalstrømninger, rebalanceringseffekter og efterspørgsel på likviditet fra investorer og kapitalforvaltere. Som under finanskrisen oplevede vi i marts 2020 en øget efterspørgsel efter likviditet i USD som følge af valutaens "safe-haven"-status. Den handelsvægtede dollar blev styrket kraftigt heraf. Virksomheder og investorer strømmede mod amerikanske dollar på trods af en række tiltag fra Federal Reserve, som normalt ville svække valutaen. Centralbankerne forsøgte at imødekomme efterspørgslen efter dollars for at forhindre likviditetsproblemer ved at udvide de gensidige swapfaciliteter, hvilket delvist har afhjulpet manglen på USD-likviditet. Den store efterspørgsel kom blandt andet til udtryk ved udvidelsen af cross-currency basis spreads (CCS

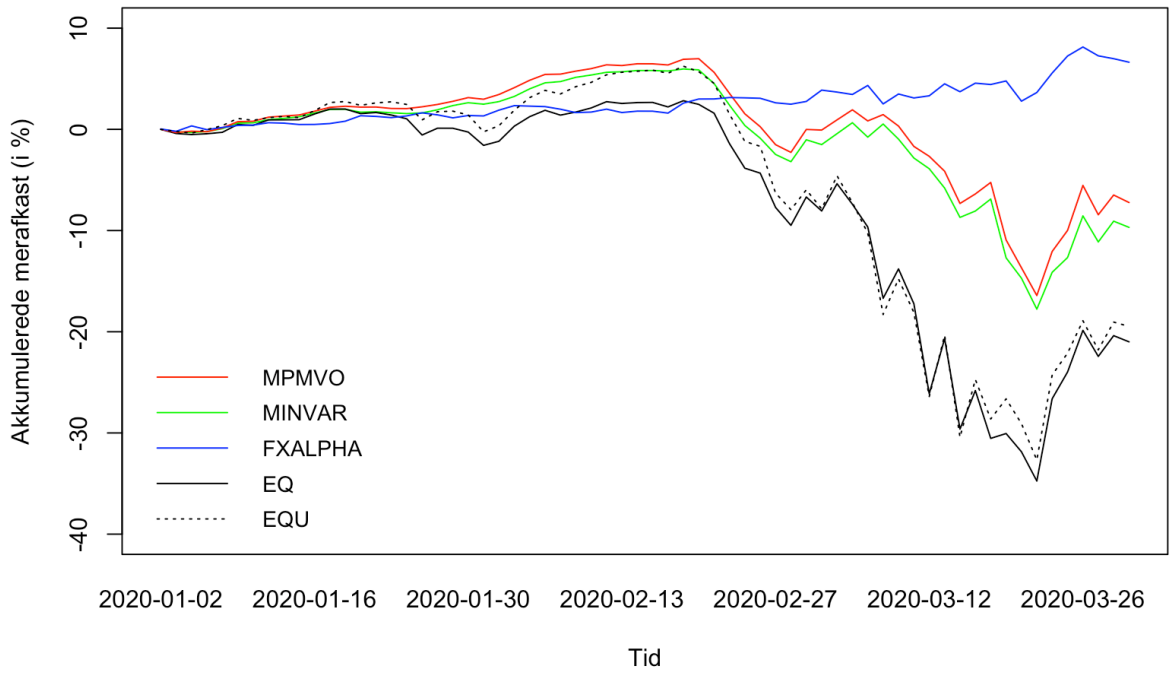
spreads) overfor USD – et mål for det beløb, som banker er villige til at betale for at låne i dollars over det teoretiske niveau baseret på renteforskelle. Helt generelt måler CCS spreads den præmie, som markedsdeltagere betaler for at bytte en valuta til en anden. Generelt er et CCS spread negativt og anvendes på et non USD-leg i en cross-currency swap. Det er således et mål for prisen på at låne USD. Jo mere negativt et CCS spread er, desto større er knapheden på den amerikanske dollar. I marts 2020 steg 3M EUR/USD CCS spread til det (numerisk) højeste niveau siden 2011, hvilket indikerer, at investorer var villige til at betale dobbelt så meget for at låne i USD overfor EUR sammenlignet med dage forinden (fra -60 bp til -120 bp). Investorer, der forsøgte at bytte JPY, stod også over for større CCS spreads for at sikre dollars. Under finanskrisen så man samme udvidelser af CCS-spændene grundet uoverensstemmelse mellem efterspørgslen og udbuddet på USD-likviditet. Bankerne begyndte at opleve store tab på deres USD-aktiver, som var blevet finansieret for lånte midler. Bankerne måtte derfor både dække tab og refinansiere deres kortsigtede gæld, hvilket øgede efterspørgslen på USD. Bankerne ville ikke sikre USD i spotmarkedet grundet FX-risikoen, og måtte derfor låne USD gennem FX swaps. Fed begyndte at øge likviditeten i det finansielle system, men USD-efterspørgslen fra amerikanske virksomheder, som ville finansiere egne positioner, gjorde det umuligt for udenlandske investorer at tilgå den amerikanske dollar. Derfor måtte Fed udvide swaplinjerne med en række centralbanker, således at de finansielle institutioner uden for USA kunne tilgå USD via FX swaps direkte gennem de indenlandske centralbanker.

Investorer har ligeledes søgt mod andre "safe haven"-valutaer som JPY og CHF under coronakrisen. De er svækket overfor den amerikanske dollar men styrket overfor euro med hhv. 2,4% og 2,3% i første kvartal af 2020 målt på merafkast. Omvendt har investorer vendt ryggen mod velkendte råvarevalutaer som AUD, CAD, NZD og NOK med fald i merafkast på hhv. -12%, -7%, -10% og -14% overfor EUR i første kvartal af 2020. Det er valutaer, som betragtes som højrisikovalutaer, og som investorer har tendens til at undgå i perioder med ustabilitet. Svækkelsen af disse valutaer skyldes i høj grad valutaernes positive korrelationer med råvarepriser, herunder råoliepriser. Særligt i Australien vokser frygten for recession grundet faldende råvarepriser. AUD/USD ramte i marts 2020 sit laveste niveau siden begyndelsen af 2000. Samtidig er svækkelsen af AUD drevet af Australiens eksponering mod Kina, som er landets største handelspartner, og den dalende kinesiske økonomi har haft direkte effekt på den australske dollar.

Centralbanker annoncerede i første kvartal 2020 historiske pengepolitiske hjælpepakker og intervention for at understøtte verdensøkonomien under coronakrisen. Fed sænkede i marts renten af to omgange: første gang med 50 bp d. 3 marts og senere 100 bp d. 15 marts. Reduktionen i renten havde til hensigt at sænke låneomkostningerne for banker således, at låntagere fik bedre mulighed for likviditet under krisen. Ligeledes lancerede Fed i marts et QE-program på USD 700 mia. med opkøb af USD 500 mia. amerikanske statsobligationer og USD 200 mia. mortgage-backed securities (MBS). Fed udvidede senere QE-programmet og signalerede, at opkøbene fremadrettet ville være ubegrænsende for at sikre en effektiv transmission af pengepolitikken under krisen. På den finanspolitiske side godkendte Senatet i USA en hjælpepakke på USD 2.000 mia. Hjælpepakken inkluderede direkte betalinger til de amerikanske familier, finansiel støtte til større virksomheder, lån til mindre virksomheder, skattelettelser og finansi-

eringsmuligheder til hospitaler. ECB udvidede i marts deres eksisterende aktivopkøbsprogram (APP) på EUR 120 mia. med et pandemiprogram (Pandemic Emergency Purchase Programme (PEPP)) på EUR 750 mia. Samtidig fjernede ECB i slutningen af marts loftet for, hvor mange obligationer, de kan købe i eurozone-lande og reducerede samtidig låneomkostningerne for bankerne. Centralbankerne i UK, Australien, Norge, Japan og Canada m.fl. har ligeledes ført en lempelig pengepolitik med rentenedsættelser. Således har en udvidelse af pengemængden og rentenedsættelser præget verdensøkonomien i første kvartal af 2020. Rentenedsættelserne har medført, at renteforskellene er blevet mindre, hvilket har reduceret fordelene ved carry. Tiltagene har unægteligt været størst i USA, og argumentet i slut 2019 om en styrket global økonomi og en stærk amerikansk dollar grundet renteforskellen mellem EUR og USD er faldet til jorden. Det øgede pengeudbud i den amerikanske økonomi sammenholdt med flere rentenedsættelser fra Fed og en diskrepans i inflationsforventningerne mellem EUR og USD tilsiger, at den amerikanske dollar skal svækkes i spotmarkedet. Effekterne har imidlertid været udlignet af den store efterspørgsel på USD som "safe-haven"-valuta i første kvartal af 2020. Efterspørgslen fra investorer, som har været nødt til at købe dollar og sælge indenlandsk valuta, har domineret FX-markedet ift. de seneste pengepolitiske tiltag fra centralbankerne.

De seneste bevægelser i både aktiemarkederne og FX-markedet påvirker unægteligt resultaterne i MPMVO. For at teste modelrobustheden har vi derfor implementeret modellen for første kvartal af 2020. Figur 20 illustrerer de akkumulerede merafkast for porteføljerne MPMVO, FXALPHA, MINVAR, EQ og EQU over perioden.



Figur 20: Tidsserier for de akkumulerede merafkast i porteføljerne MPMVO, MINVAR, FXALPHA, EQ og EQU over perioden 02/01-2020 til 31/03-2020 (første kvartal 2020). Data genereret ved egen kode.

Vi ser fortsat betydelige merafkast i MPMVO overfor både EQ og EQU. Positionerne i FXALPHA, som

er ligevægtet af momemtum, value og carry, reagerer til en vis grad i overensstemmelse med resultaterne fra finanskrisen afsnit 6.3.4. Ikke overraskende underperformer carry ift. både momentum og value grundet højrentevalutaers (lavrentevalutaers) generelle positive (negative) korrelationer med aktiemarkedet. Gennem carry tager vi lange positioner i svækkede valutaer som CAD og NOK, mens vi går kort i styrkede valutaer som CHF. De negative afkast udlignes dog delvist af positive USD-eksponeringer. Diversifikationseffekten ved at tilføje momemtum og value til den samlede portefølje betyder imidlertid, at FXALPHA outperformer samtlige porteføljer inkl. MPMVO over perioden. Vi oplevede tilsvarende resultat under finanskrisen (se figur 17 over de akkumulerede merafkast fra 2002-2019). FXHEDGE påvirkes af volatilitet og forskydninger i kovariansstrukturen mellem aktier og valutaer, hvilket øger porteføljens turnover. Alligevel ser vi, at MINVAR outperformer EQ og EQU over perioden.

I tabel 17 dokumenterer vi ÅTD merafkast (vs. et risikofrit aktiv) for MPMVO, EQ og EQU samt merafkast i MPMVO vs. EQ og EQU målt fra 02/01-2020 til 31/03-2020. Vi bemærker, at EQU genererer et merafkast på 1,53% ift. EQ. Resultatet er konsistent med udviklingen af EQ og EQU under finanskrisen, hvor EQU på tilsvarende vis outperformede EQ. En del af forklaringen er, at valutaeksponeringen i EQU (hovedsageligt USD) har fungeret som naturligt hedge. Vi ser et merafkast på 13,95% i MPMVO vs. EQ svarende til forbedring i ÅTD merafkastet på 66% fra EQ til MPMVO målt over hele stikprøveperioden. Samme konklusion kan drages om MPMVO overfor den uafdækkede aktieportefølje, EQU, hvor merafkastet i MPMVO er 12,43%.

		Merafkast	
	ÅTD	vs. EQ	vs. EQU
MPMVO	-7,05%	13,95%	12,43%
EQ	-21,00%	–	-1,53%
EQU	-19,47%	1,53%	–

Tabel 17: ÅTD merafkast (ift. risikofrit afkast) for MPMVO, EQ og EQU og merafkast for MPMVO vs. EQ og EQU målt over perioden 02/01-2020 til 31/03-2020 (Q1 2020).

Implementering af MPMVO under coronakrisen fortæller os ligeledes om korttidseffekten i modellen. Man kunne frygte, at modellen ville under- eller overskyde sit optimale niveau i tilfældet, hvor modellen bliver udsat for chok over korte tidsperioder – i dette tilfælde coronakrisen. Resultaterne indikerer, at modellen er i stand til at tilpasse sig ved kortsigtede chok. Den kombinerede MPMVO-portefølje outperformer både EQ og EQU over tidsperioden uden undtagelser med lavere realiserede volatilitet og signifikante merafkast. Samlet set ændres konklusionerne ikke for MPMVO.

8 Konklusion

Formålet med afhandlingen har været at undersøge optimale valutastrategier forbundet med hedging af valutarisiko i internationale aktieporteføljer. Undersøgelsen har taget udgangspunkt i MPMVO-modellen, som er blevet udledt matematisk og praktisk implementeret. Den eksisterende litteratur om hedging af valutarisiko i internationale aktieporteføljer har indtil nu taget udgangspunkt i USD-baserede investorer. Vi har nu dokumenteret resultater for optimal hedging af valutarisiko ved MPMVO-modellen for EUR-baserede investorer.

På baggrund af grundlæggende teoriske og empiriske resultater har vi vist, at den optimale portefølje til hedging af valutarisiko af internationale aktieporteføljer kan dekomponeres i tre delkomponenter: 1) en hedged aktiekomponent, 2) en valutaportefølje, FXHEDGE, der har til formål at minimere aktievolatiliteten, og 3) en uafhængig Sharpe ratio-maksimerende valutaportefølje, FXALPHA. Investorer får derved direkte mulighed for at identificere, om valutapositionerne skyldes hedging- eller alphaoptimering. Dekomponeringen giver mulighed for selv at tilpasse komponenterne i de enkelte long-short valutaporteføljer. På denne måde tillades mere gennemsigtighed og fleksibilitet i MPMVO-modellen sammenlignet med en klassisk middelværdi-varians-optimering (MVO). Fleksibiliteten i kalibreringen af modellen giver samtidig mulighed for at tilføje investorspecifikke præferencer som begrænsninger på rebalanceringsfrekvens, volatilitetsniveau og gearingsgrad.

I en omfattende empirisk undersøgelse fandt vi, at MPMVO-porteføljen tager positioner i valutaer således, at det risikojusterede afkast forbedres med 70% ift. den hedgede aktieportefølje for en EUR-baseret investor målt over stikprøveperioden 2002-2019. Vi viste resultater for forskellige tilgange til konstruktion af delkomponenterne i MPMVO-modellen og fandt, at hedgeporteføljen bedst opnås ved at bruge en fuldt optimeret tilgang, der udnytter de forskellige valutaers egenskaber til at minimere den samlede aktievolatilitet. Vi undersøgte endvidere forskellige metoder til at konstruere den Sharpe ratio-maksimerende valutaportefølje og fandt, at investorer kan opnå højere risikojusterede afkast ved at kombinere de tre strategier momentum, carry og value i en sammensat ligevægtet portefølje. På baggrund af de endelige optimale valg af delkomponenter konstruerede vi MPMVO-porteføljen. Den kombinerede MPMVO-portefølje outperformede både den 100% hedgede aktieportefølje og den uafdækkede aktieportefølje over stikprøveperioden med lavere realiseret volatilitet og højere merafkast. Vores resultater viser således, at det risikojusterede afkast i en international aktieportefølje kan forbedres ved anvendelse af et aktivt forvaltet currency overlay gennem to selvstændige long-short FX-porteføljer ved MPMVO-modellen. Løsningen er praktisk med forbedrede risikoegenskaber samt realistiske porteføljekarakteristika som gearingsgrad og rebalanceringsfrekvens.

Endeligt fandt vi, at modellen var robust ved både ændring af 1) rebalanceringsfrekvensen, 2) begrænsning af gearingsniveauet, 3) over delstikprøver, 4) ved ekskludering af finanskrisen, 5) efter transaktionsomkostninger og 6) ved kortsigtede chok eksemplificeret ved den aktuelle coronakrise. Samlet set ændrer vi ikke konklusionen om, at MPMVO-modellen kan tilføje værdi for investorer med internationale aktieporteføljer.

9 Referencer

9.1 Bøger

Henderson, Callum. (2002). "Currency Strategy: The Practitioner's Guide to Currency Investing, Hedging and Forecasting". *John Wiley & Sons.*

Ilmanen, Antti. (2011). "Expected Returns: An Investor's Guide to Harvesting Market Rewards". *John Wiley & Sons.*

James, Jessica., Marsh, Ian. & Sarno, Lucio. (2012). "Handbook of Exchange Rates" (2. udg.). *John Wiley & Sons.*

Kolchin, Katie. & Podziemska, Justyna (SIFMA). (2019). "Capital Markets Fact Book". *SIFMA.*

Nygaard, Claus. (2013). "Samfundsvidenskabelige analysemetoder" (2. udg., Bd. 2). *Samfundslitteratur.*

Ruppert, David. & Matteson, David S. (2015). "Statistics and Data Analysis for Financial Engineering with R examples" (2. udg.). *Springer New York Heidelberg Dordrecht London.*

Ullrich, Christian. (2009). "Forecasting and hedging in the foreign exchange markets". (623. udg.). *Springer Science & Business Media.*

Vajanne, Laura. (1993). "The exchange rate under target zones: theory and evidence on the Finnish Markka". *Elinkeinoelämän tutkimuslaitos.*

9.2 Artikler

Abuaf, Niso. & Jorion, Philippe. (1990). "Purchasing power parity in the long run". *The Journal of Finance*, 45(1). 157-174.

Adler, Michael & Lehmann, Bruce. (1983). "Deviations from purchasing power parity in the long run". *The Journal of Finance*, 38(5), 1471-1487.

Alexius, Annika. (2001). "Uncovered Interest Parity Revisited". *Review of International Economics*, 9(3), 505-517.

Alquist, Ron. & Chinn, Menzie D. (2006). "Conventional and Unconventional Approaches to Exchange Rate Modeling and Assessment". *NBER Working Paper Series*, (12481).

Amundi Asset Management (2019). "Factor Investing in Currency Markets: Does it Make Sense?". *Working Paper, Cross Asset Investment Strategy.*

Anderson, Ronald W. & Danthine, Jean-Pierre. (1981). "Cross Hedging". *Journal of Political Economy*, 89(6), 1182-1196.

Ang, Andrew. & Bekaert, Geert. (2002). "International Asset Allocation With Regime Shifts". *The Review of Financial Studies*, 15(4), 1137-1187.

Angeloni, Ignazio & Ehrmann, Michael. (2003). "Monetary transmission in the euro area: early evidence". *Economic policy*, 18(37), 469-501.

AQR Capital Management. (2019). "Macro Wrap-up – Does Anyone Remember the Carry Trade?".

Bakshi, Gurdip. & Panayotov, George. (2011). "Predictability of Currency Carry Trades and Asset Pricing Implications". *Journal of Financial Economics*, 110(1), 139-163.

Balassa, Bela. (1964). "The purchasing-power parity doctrine: a reappraisal". *Journal of Political Economy*, 72(6), 584-596.

Berge, Travis J., Jordá, Óscar. & Taylor, Alan M. (2010). "Currency Carry Trades". *NBER Working Paper Series* , (16491).

Bilson, John F.O. (1980). "The Speculative Efficiency' Hypothesis". *NBER Working Paper Series*, (474).

Bilson, John F.O. (1984). "Purchasing power parity as a trading strategy". *Journal of Finance*, 715-724.

BIS, Bank for International Settlements. (2019). "Foreign Exchange Turnover in April 2019". *BIS Triennial Central Bank Survey.*

Black, Fisher. (1995). "Optimizing Currency Risk and Reward in International Equity Portfolios". *Financial Analysts Journal*, 51(1), 161-167.

Boudoukh, Jacob., Richardson, Matthew., Thapar, Ashwin. & Wang, Franklin. (2019). "Optimal Currency Hedging for International Equity Portfolios". *Financial Analysts Journal*, 75(4), 65-83.

Brunnermeier, Markus K., Nagel, Stefan. & Pedersen, Lasse H. (2008). "Carry Trades and Currency Crashes". *NBER Working Paper Series*, (14473).

Burnside, Craig., Eichenbaum, Martin., Kleshchelski, Isaac. & Rebelo, Sergio. (2006). "The Returns to Currency Speculation". *NBER Working Paper Series.*

Burnside, Craig., Eichenbaum, Martin. & Rebelo, Sergio. (2011). "Carry Trade and Momentum in Currency Markets". *Annual Review of Financial Economics*, 3(1).

Byrd, Richard H., Lu, Peihuang., Nocedal, Jorge. & Zhu, Ciyou. (1994). "A Limited Memory Algorithm for Bound Constrained Optimization". *Northwestern University. Department of Electrical Engineering and Computer Science.*

Campbell, John Y., Medeiros, Karine S-D. & Viceira, Luis M. (2010). "Global Currency Hedging". *The Journal of Finance, 65(1).*

Chaboud, Alain P. & Wright, Jonathan H. (2005). "Uncovered Interest Parity: it works, but not for long". *Journal of International Economics*, 66(2), 349-362.

Cheung, Yin-Wong., Chinn, Menzie D. & Pascual, Antonio G. (2005). "Empirical Exchange Rate Models of the Nineties: Are any fit to survive?". *Journal of International Money and Finance*, 24(1), 1150-1175.

Cheung, Yin-Wong. & Chinn, Menzie D. (2001). "Currency Traders and Exchange Rate Dynamics: a survey of the US market". *Journal of International Money and Finance*, 20(4), 439-471.

Chinn, Menzie D. & Meredith, Guy. (2004). "Monetary Policy and Long-Horizon Uncovered Interest Parity". *Palgrave Macmillan Journals on behalf of the International Monetary Fund*, 51(3), 409-430.

Christensen, Bent J. & Varneskov, Rasmus T. (2016). "Dynamic Global Currency Hedging". *Department of Economics and Business Economics.*

Clark, Todd E. & West, Kenneth D. (2006). "Using out-of-sample mean squared prediction errors to test the martingale difference hypothesis". *Journal of Econometrics*, 135(1), 155-186.

Clements, Kenneth W. & Si, Jiawei. (2017). "Simplifying The Big Mac Index". *Journal of International Financial Management & Accounting*, 28(1), 86-99.

Coakley, Jerry. & Snaith. (2004). "Testing for long run relative PPP in Europe". *Money Macro and Finance Research Group.*

Dahlquist, Magnus. & Hasseltoft, Henrik. (2020). "Economic momentum and currency returns". *Journal of Financial Economics*, 136(1), 152-167.

Daniel, Kent., Hodrick, Robert J. & Lu, Zhongjin. (2017). "The Carry Trade: Risks and Drawdowns". *Critical Finance Review*, (6), s. 211-262.

Daniel, Kent & Moskowitz, Tobias J. (2016). "Momentum crashes". *Journal of Financial Economics*, 122(2), 221-247.

De Roon, Frans A., Nijman, Theo E. & Werker, Bas J.M. (2003). "Currency hedging for international stock portfolios: The usefulness of mean–variance analysis". *Journal of Banking & Finance*, 27(2), 327-349.

Deaton, Angus, & Heston, Alan. (2010). "Understanding PPPs and PPP-based national accounts". *American Economic Journal: Macroeconomics*, 2(4), 1-35.

Deutsche Bank (2009). "db Currency Returns". *Global Markets Foreign Exchange.*

Dietrich, Felix. (2018). "Managing the risk of currency momentum strategies". *University of St.Gallen.*

ECB (2010). "Monetary Policy Transmission in The Euro Area, A Decade after The Introduction of The Euro". *ECB Monthly Bulletin.*

Fama, Eugene F. (1984). "Forward and Spot Exchange Rates". *Journal of Monetary Economics North Holland*, 14(3), 319-338.

Fama, Eugene F. & French, Kenneth R. (1992). "The Cross-Section of Expected Stock Returns". *The Journal of Finance*, 47(2), 427-465.

Fama, Eugene F. & French, Kenneth R. (1993). "Common risk factors in the returns on stocks and bonds". *The Journal of Financial Economics*, 33(1), 3-56.

Fama, Eugene F. & French, Kenneth R. (1996). "Multifactor explanations of asset pricing anomalies". *The Journal of Finance*, 51(1).

Fama, Eugene F. & French, Kenneth R. (1998). "Value versus growth: The international evidence". *The Journal of Finance*, 53(6).

Farhi, Emmanuel., Fraiberger, Samuel P., Gabaix, Xavier., Ranciere, Romain. & Verdelhan, Adrien. (2015). "Crash Risk in Currency Markets". *NBER Working Paper Series*, (15062).

Filippou, Ilias., Gozluklu, Arie E. & Taylor, Mark P. (2016). "Global Political Risk and Currency Momentum". *Cambridge University Press.*

Filippou, Ilias. & Taylor, Mark P. (2017). "Common Macro Factors and Currency Premia". *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 52(4), 1731-1763.

Frankel, Jeffrey A. (1986). "International capital mobility and crowding-out in the U.S. economy: imperfect integration of financial markets or goods markets?". *Lexington Books*, 33-67.

Frenkel, Jacob A. (1978). "Purchasing power parity: doctrinal perspective and evidence from the 1920s". *Journal of International Economics*, 8(2), 169-191.

Froot, Kenneth A. & Rogoff, Kenneth. (1995). "Perspectives on PPP and long-run real exchange rates". *Handbook of international economics*, (3). 1647-1688.

Froot, Kenneth A. & Ramadorai, Tarun. (2005). "Currency Returns, Intrinsic Value, and Institutional-Investor Flows". *The Journal of Finance*, 60(3).

Gagnon, Louis., Lypny, Gregory J. & McCurdy, Thomas H. (1998). "Hedging foreign currency portfolios". *Journal of Empirical Finance*, 5(1), 197-220.

Galati, Gabriele., Heath, Alexandra. & McGuire, Patrick. (2007). "Evidence of carry trade activity". *BIS Quarterly Review.*

Gargano, Antonio., Riddiough, Steven J. & Sarno, Lucio. (2018). "The Value of Volume in Foreign Exchange". *SSRN Electronic Journal.*

Gilmore, Stephen. & Hayashi, Fumio. (2011). "Emerging Market Currency Excess Returns". *NBER Working Paper*, (14528).

Glen, Jack. & Jorion, Philippe. (1993). "Currency Hedging for International Portfolios". *The Journal of Finance*, 48(5).

Goyal, Amit. & Saretto, Alessio. (2009). "Cross-section of option returns and volatility". *Journal of Financial Economics*, 94(1), 310-326.

Grobys, Klaus., Heinonen, Jari-Pekka. & Kolari, James. (2018). "Return dispersion risk in FX and global equity markets: Does it explain currency momentum". *International Review of Financial Analysis*, 56(1), 264-280.

Haidar, Jamal B. (2011). "Currency valuation and purchasing power parity". *World Economics*, 12(3).

Harr, Thomas. (2020). "FX as an asset class – why, how and implications". *Investment Research*, Danske Bank.

Haug, Alfred A. & Basher, Syed A. (2011). "Linear or nonlinear cointegration in the purchasing power parity relationship?". *Applied Economics*, 43(2), 185-196.

He, Xue-Zhong., Li, Kai. & Li, Youwei. (2007). "Asset Allocation with Time Series Momentum and

Reversal". *University of Technology Sydney (UTS) Business School.*

Huang, Chao-Hsi. & Yang, Chih-Yuan. (2015). "European exchange rate regimes and purchasing power parity: An empirical study on eleven eurozone countries". *International Review of Economics & Finance*, 35, 100-109.

Israel, Ronen., Laursen, Kristoffer. & Richardson, Scott. (2020). "Is (systematic) value investing dead?". AQR Capital Management.

Jegadeesh, Narasimhan. & Titman, Sheridan. (1993). "Returns to buying winners and selling losers: Implications for stock market efficiency". *The Journal of finance*, 48(1), 65-91.

Jegadeesh, Narasimhan. & Titman, Sheridan. (2001). "Profitability of Momentum Strategies: An Evaluation of Alternative Explanations". *The Journal of Finance*, 56(2).

Jiang, Xue., Han, Liyan. & Yin, Libo. (2018). "Currency strategies based on momentum, carry trade and skewness". *Physica A*, 517(1), 121-131.

Johnson, Leland L. (1960). "The Theory of Hedging and Speculation in Commodity Futures". *The Review of Economic Studies*, 27(3), 139-151.

Jordà, Òscar. & Taylor, Alan M. (2009). "The Carry Trade and Fundamentals: Nothing to Fear but Feer Itself". *NBER Working Paper Series*, (15518).

Jorion, Philippe. (1985). "International Portfolio Diversification with Estimation Risk". *The Journal of Business*, 58(3), 259-278.

J.P. Morgan Asset Management. (2008). "Using the Currency Carry Trade in a Diversified Portfolio". JPMorgan Chase & Co.

Koedijk, Kees G., Tims, Ben & Van Dijk, Mathijs. (2004). "A Purchasing Power Parity and The Euro Area". *Journal of International Money and Finance*, 23(7-8), 1081-1107.

Laborda, Juan., Laborda, Ricardo. & Olmo, Jose. (2014). "Optimal Currency Carry Trade Strategies". *International Review of Economics and Finance*, (33), s. 52-66.

Lakonishok, Josef., Shleifer, Andrei. & Vishny, Robert W. (1994). "Contrarian Investment, Extrapolation, and Risk". *The Journal of Finance*, 49(5), 1541-1578.

Lewis, Karen K. (1995). "Puzzles in International Financial Markets". *Handbook of International Economics*, 3(1).

Linderstrøm, Martin D. (2013). "Fixed Income Derivatives Lecture Notes". *Department of Economics, University of Copenhagen.*

Londono, Juan M. & Zhou, Hao. (2017). "Variance risk premiums and the forward premium puzzle". *Journal of Financial Economics*, 124(2), 415-440.

Lothian, James R. & Taylor, Mark P. (1996). "Real exchange rate behavior: the recent float from the perspective of the past two centuries". *Journal of Political Economy* 104(3), 488-509.

Lustig, Hanno., Roussanov, Nikolai. & Verdelhan, Adrien. (2011a). "Common Risk Factors in Currency Markets". *The Review of Financial Studies*, 24(11).

Lustig, Hanno., Roussanov, Nikolai. & Verdelhan, Adrien. (2011b). "Countercyclical Currency Risk Premia". *Journal of Financial Economics*, 111(3).

Lustig, Hanno. & Verdelhan, Adrien. (2007). "The Cross Section of Foreign Currency Risk Premia and Consumption Growth Risk". *American Economic Review*, 97(1).

Luu, Van. (2016). "Currency factors: More than a zero sum game". Russell Investment Research.

Lyons, Richard K. (2001). "The Microstructure Approach to Exchange Rates". *Cambridge, MIT Press.*

Mancini, Loriano., Ronaldo, Angelo. & Wrampelmeyer, Jan. (2013). "Liquidity in the Foreign Exchange Market: Measurement, Commonality, and Risk Premiums". *The Journal of Finance*, 68(5), 1805-1841.

Markowitz, Harry. (1952). "Portfolio Selection". *The Journal of Finance*, 7(1), 77-91.

McCallum, Bennett T. (1992). "A Reconsideration of The Uncovered Interest Parity Relationship". *NBER Working Papers Series*, (4113).

Meese, Richard. & Rogoff, Kenneth. (1988). "Was it Real? The Exchange Rate-Interest Differential Relation Over the Modern Floating-Rate Period". *The Journal of Finance, 43(4)*, 933-948.

Menkhoff, Lukas., Sarno, Lucio. & Schmeling, Maik. (2016). "Information Flows in Foreign Exchange Markets: Dissecting Customer Currency Trades". *BIS Working Papers*, (405).

Menkhoff, Lukas., Sarno, Lucio., Schmeling, Maik. & Schrimpf, Andreas. (2012a). "Carry Trades and Global Foreign Exchange Volatility". *The Journal of Finance*, 67(2), 681-718.

Menkhoff, Lukas., Sarno, Lucio., Schmeling, Maik. & Schrimpf, Andreas. (2012b). "Currency Momen-

tum Strategies". *Journal of Financial Economics*, 106(3), 660-684.

Menkhoff, Lukas., Sarno, Lucio., Schmeling, Maik. & Schrimpf, Andreas. (2017). "Currency Value". *The Review of Financial Studies*, 30(2), 416-441.

Molodtsova, Tanya. & Papell, David H. (2009). "Out-of-sample exchange rate predictability with Taylor rule fundamentals". *Journal of International Economics*, 77(2), 167-187.

Moskowitz, Tobias J., Ooi, Yao H. & Pedersen, Lasse H. (2012). "Time series momentum". *Journal of Financial Economics*, 104(2), 228-250.

MSCI. (2018). "MSCI hedged indexes, MSCI daily hedged indexes, MSCI adaptive hedge indexes". *Morgan Stanley Capital International (MSCI) index methodology.*

MSCI. (2019). "MSCI currency factor indexes". *Morgan Stanley Capital International (MSCI) index methodology.*

MSCI. (2020). "MSCI ACWI Index (EUR)". *Morgan Stanley Capital International (MSCI).*

Nomura. Rajendran, Tam. (2019). "Hedging Currency Risk in Asset Portfolios".

Norges Bank. (2016). "Nonlinearities in the relationship between oil price changes and movements in the Norwegian krone". *Norges Bank Research*, (18).

O'Brien, Thomas J. & de Vargas, Santiago R. (2017). "The Adjusted Big Mac Methodology: A Clarification". *Journal of International Financial Management & Accounting*, 28(1), 70-85.

Okunev, John. & White, Derek. (2003). "Do Momentum-Based Strategies Still Work in Foreign Currency Markets?". *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 38(2).

Opgen-Rein, Rainer. & Strimmer, Korbinian. (2006). "Inferring Gene Dependency Networks from Genomic Longitudinal Data: A Functional Data Approach". *REVSTAT – Statistical Journal*, 4(1), 53-64.

Opie, Wei. & Dark, Jonathan. (2015). "Currency Overlay for Global Equity Portfolios: Cross Hedging and Base Currency". *The Journal of Futures Markets*, 35(2), 186-200.

Opie, Wei. & Riddiough, Steven J. (2019). "Global currency hedging with common risk factors". *Journal of Financial Economics.*

Orlov, Vitaly. (2016). Currency momentum, carry trade, and market illiquidity. Journal of Banking & Finance, 67(1), 1-11.

Pakko, Michael R. & Pollard, Patricia S. (1996). "For here or to go? Purchasing power parity and the Big Mac". *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, 78(1).

Pakko, Michael R. & Pollard, Patricia S. (2003). "Burgernomics: A Big Mac^{TM} Guide to Purchasing Power Parity". *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, (85).

Pedersen, Lasse H. (2016). "Sharpening the Arithmetic of Active Management". *Financial Analysts Journal*, 74(1), 21-36.

Pedersen, Lasse H., Asness, Clifford S. & Moskowitz, Tobias J. (2013). "Value and Momentum Everywhere". *The Journal of Finance*, 68(3).

Rangvid, Jesper. (2002). "Afdækning af valutakursrisikoen i porteføljen". *Finans/Invest.*

Raza, Ahmad. (2015). "Are Value Strategies Profitable in the Foreign Exchange Market". *Australasian Finance and Banking Conference.*

Raza, Ahmad., Marshall, Ben R. & Visaltanachoti, Nuttawat. (2014). "Is there momentum or reversal in weekly currency returns". *Journal of International Money and Finance*, 45(1), 38-60.

Ross, Stephen A. (1976). "The Arbitrage Theory of Capital Asset Pricing". *Journal of Economic Theory*, 13(3), 341-360.

Schindler, Felix., Kroencke, Tim A. & Schrimpf, Andreas. (2013). "International Diversification Benefits with Foreign Exchange Investment Styles". *Review of Finance*, 18(1), 1847-1883.

Schmittmann, Jochen M. (2010). "Currency Hedging for International Portfolios". *International Monetary Fund.*

Schäfer, Juliane. & Strimmer, Korbinian. (2005). "Statistical Applications in Genetics and Molecular Biology". *The Berkeley Electronic Press*, 4(1).

Sharpe, William F. (1964). "Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk". *The Journal of Finance*, 19(3).

Stein, Jerome L. (1961). "The Simultaneous Determination of Spot and Futures Prices". *The American Economic Review*, 51(5), 1012-1025.

Taylor, Mark P. & McMahon, Patrick C. (1988). "Long-run purchasing power parity in the 1920s". *European Economic Review*, 32(1), 179-197.

Taylor, Alan M. (2002). "A century of purchasing-power parity". *Review of economics and statistics*, 84(1), 139-150.

Topaloglou, Nikolas., Vladimirou, Hercules. & Zenios, Stavros A. (2011). "Optimizing International Portfolios with Options and Forwards". *Journal of Banking & Finance*, 35(12), 3188-3201.

Öberg, Svante. (2009). "Sweden and The Financial Crisis". *Speech by Mr Svante Öberg, Deputy Governor of the Sveriges Riksbank, at Carlson Investment Management, Stockholm.*

9.3 Internetartikler

Financial Times, Alphaville. (2020). "What makes this global dollar crunch different?". *Financial Times*. Lokaliseret den 26.03 2020 på:
https://ftalphaville.ft.com/2020/03/26/1585218010000/What-makes-this-global-dollar-crunch-different-/?fbclid=IwAR1QkAfT_nhJu7Rq_VLqyo9hhkKdZ-UsH-9kmthuDFSHVTkVhfL07VZvaDA

Financial Times, Alphaville. (2020). "What central banks giveth they taketh away with margin calls". *Financial Times*. Lokaliseret den 26.03 2020 på:
https://ftalphaville.ft.com/2020/03/26/1585221858000/What-central-banks-giveth-they-taketh-away-with-margin-calls/?fbclid=IwAR3EpbJac2l9AV0IIIDLVgr6HqYEOneJq7ZKa66cZbc2l3w61xhyvgaEz-g

Financial Times. (2020). "Sterling hits lowest level on record against UK's trading partners". *Financial Times*. Lokaliseret den 25.03 2020 på:
https://www.ft.com/content/015ee628-6de7-11ea-9bca-bf503995cd6f?fbclid=IwAR1qICXtiSHHgzeKKZpSikW9CWVlmatIH8S2BbnK5dzEReiWHYiz57gSiuE

Financial Times. (2020). "Fed expands dollar swap lines with central banks". *Financial Times*. Lokaliseret den 19.03 2020 på:
https://www.ft.com/content/2ac4fe30-69e1-11ea-800d-da70cff6e4d3?fbclid=IwAR0GSoFr3MM4xbOoiv1VD7lCSyRUw71GhYCdEvERxxI-kZuaj-dK9NiDCy8

Financial Times. (2020). "Heavy take-up of Fed swaps eases strains on dollar". *Financial Times*. Lokaliseret den 27.03 2020 på:
https://www.ft.com/content/ce1101f6-ca10-40f3-bce8-b37617b9fd1e?fbclid=IwAR3AosfxyKSjEltDPI0TU441s16c2jqUefD6SRW0Jx5_DGqKPi8vKq38A9M

FinansWatch. (2015). "Storbank anbefaler spekulation i udvidelse af kronespændet". *FinansWatch*. Lokaliseret den 19.02 2020 på:
https://finanswatch.dk/Finansnyt/article7403012.ece?fbclid=IwAR3Id3ph4MF2Q6oV2oXPnTWe QYt-lq5px8gIx1muI7pwFkSuDpMz1_cQQq1A

NBER. “US Business Cycle Expansions and Contractions”. *The U.S. National Bureau of Economic Research*. Lokaliseret den 05.04 2020 på:
https://www.nber.org/cycles.html

Nationalbanken. (2020). “Valuta og Likviditet samt Månedsbalance”. *Nationalbanken*. Lokaliseret den 02.04 2020 på:
http://www.nationalbanken.dk/da/presse/Sider/2020/04/DNN202005482.aspx?fbclid=IwAR1ZMnG30ofgaqBlQVyeLSFAo2FDGBJjMr_5HLusoitkX_EVxizcbJaWsCc

OECD. “Purchasing Power Parities - Frequently Asked Questions (FAQs)”. *OECD*. Lokaliseret den 28.03 2020 på:
https://www.oecd.org/sdd/prices-ppp/purchasingpowerparities-frequentlyaskedquestionsfaqs.htm

The World Bank. “International Comparison Program (ICP)”. *The World Bank*. Lokaliseret den 28.03 2020 på:
https://www.worldbank.org/en/programs/icp#1

10 Bilag

10.1 R-kode

```
#################################################################
#################################################################
#################################################################
#################################################################
#Datainspektion
par(mfrow=c(1,1))
timeline <- seq(2002, 2020,length=length(MSCI))
CCYnames <- c("AUD", "DKK", "CAD", "JPY", "NOK", "NZD", "SEK", "CHF", "GBP",
    "USD")
plot(CCYexcess[,1], type='l',ylim=c(-50,130),col='white', xlab = 'Tid', xaxt
   ='n', ylab='Akkumuleret␣merafkast␣(i␣%)')
for (i in 2:10)
{
  lines(cumsum(CCYexcess[,i])*100,type='l', col=i, lty=ltyc[i])
}
legend('topleft', legend=CCYnames,col=1:10, lty=ltyc, cex=0.6)
axis(1,at=1:length(MSCI), round(timeline), tick=F)

#Korrelationer FX og EQ
cor(weeklyReturn(tsMSCI)-CASHrates$EUCASHRETURN, CCYexcess)
cor(CCYexcess)

#Fordelinger
par(mfrow=c(3,4))
for (i in 1:10)
{
  plot(density(CCYexcess[,i]), main = CCYnames[i],
  xlab=paste("Skewness:", round(skewness(CCYexcess[,i]),2),
  "␣␣␣", "Kurtosis:", round(kurtosis(CCYexcess[,i]),2)))
  abline(0,inf,col='red')
}

#QQ plots
par(mfrow=c(3,4))
for (i in 1:10)
{
  qqnorm(CCYexcess[,i], main = CCYnames[i],
         xlab=paste("Skewness:", round(skewness(CCYexcess[,i]),2), "␣␣␣"
                    , "Kurtosis:", round(kurtosis(CCYexcess[,i]),2)))
  qqline(CCYexcess[,i], col='red')
}
```

```
#################################################################
#################################################################
#################################################################
#################################################################
#Maanedlig optimale hedgepositioner

#Illustrativt eksempel: JPY og AUD
#JPY
JPYtest <- as.numeric(weeklyReturn(tsJPY)+(CASHrates$JPCASHRETURN-CASHrates$
   EUCASHRETURN))
MSCItest <- as.numeric(weeklyReturn(tsMSCI)-CASHrates$EUCASHRETURN)
cvec <- rep(0, times=length)
sdvec <- rep(0,times=length)
j <- 0
i <- 0
k <- 0
for (i in 2:length)
{
  j <- i*4
  k <- j-4
  cvec[1] <- cor(JPYtest[1:4],MSCItest[1:4])
  cvec[i] <- cor(JPYtest[k:j],MSCItest[k:j])
  sdvec[1] <- sd(MSCItest[1:4])/sd(JPYtest[1:4])
  sdvec[i] <- sd(MSCItest[k:j])/sd(JPYtest[k:j])
}

#h beregning
h = -cor(JPYtest,MSCItest)*(sd(MSCItest)/sd(JPYtest))

#AUD
AUDtest <- as.numeric(weeklyReturn(tsAUD)+(CASHrates$AUCASHRETURN-CASHrates$
   EUCASHRETURN))
MSCItest <- as.numeric(weeklyReturn(tsMSCI)-CASHrates$EUCASHRETURN)
c2vec <- rep(0, times=length)
sd2vec <- rep(0,times=length)
j <- 0
i <- 0
k <- 0
length <- length(AUDtest)/4
for (i in 2:length)
{
  j <- i*4
  k <- j-4
  c2vec[1] <- cor(AUDtest[1:4],MSCItest[1:4])
  c2vec[i] <- cor(AUDtest[k:j],MSCItest[k:j])
  sd2vec[1] <- sd(MSCItest[1:4])/sd(AUDtest[1:4])
```

```
  sd2vec[i] <- sd(MSCItest[k:j])/sd(AUDtest[k:j])
}

#Plot - optimale hedgepositioner
par(mfrow=c(1,1))
plot(sdvec, cvec, xlim=c(0,5), col='green', ylab="Korrelation␣mellem␣EQ␣og␣
   FX␣merafkast"
     , xlab=expression(paste("Relativ␣volatilitet,␣", sigma,""[EQ],"/",sigma
        ,""[FX])), pch=20)
curve(-1/x, add=TRUE)
curve(-0.5/x, xlim=c(0,5),ylim=c(-1, 1), add=TRUE)
curve(0/x, xlim=c(0,5),ylim=c(-1, 1), add=TRUE, lty=3)
curve(1/x, xlim=c(0,5),ylim=c(-1, 1),add=TRUE)
curve(0.5/x, xlim=c(0,5),ylim=c(-1, 1), add=TRUE)
par(new=TRUE)
plot(sd2vec, c2vec, col='red', axes=F, ylab="␣", xlab= "␣", pch=20)

##################################################################
##################################################################
##################################################################
##################################################################
#MINVAR portefoeljer
#MINVAR = EQ + FXHEDGE

##################################################################
##################################################################
#Robust metode

#Statisk robust FXHEDGE
FXB <- as.matrix(CCYexcess,length(MSCI),10) %*% MSCIweight
FXBn <- as.numeric(FXB)
MSCIn <- as.numeric(weeklyReturn(tsMSCI)-CASHrates$EUCASHRETURN)
corEQFXB <- cor(weeklyReturn(tsMSCI)-CASHrates$EUCASHRETURN,FXB)
sdEQ <- sd(weeklyReturn(tsMSCI)-CASHrates$EUCASHRETURN)
sdFXB <- sd(FXB)
h <- -corEQFXB*(sdEQ/sdFXB)

#Dynamisk robust FXHEDGE
FXB <- as.matrix(CCYexcess,length(MSCI),10) %*% MSCIweight
FXBn <- as.numeric(FXB)
MSCIn <- as.numeric(weeklyReturn(tsMSCI)-CASHrates$EUCASHRETURN)
lengthrob <- length(MSCIn)/reb #rebalancing
corEQFXB <- rep(0, times=lengthrob)
sdEQFXB <- rep(0,times=lengthrob)
hd <- rep(0,times=lengthrob)
hFXB <- rep(0, times=length(FXBn))
j <- 0
```

```
i <- 0
k <- 0
for (i in 2:lengthrob)
{
  j <- i*reb
  k <- j-reb
  corEQFXB[1] <- cor(MSCIn[1:reb], FXBn[1:reb]) #1M cor
  corEQFXB[i] <- cor(MSCIn[k:j],FXBn[k:j]) #+1M cor
  sdEQFXB[1] <- sd(MSCIn[1:reb])/sd(FXBn[1:reb]) #1M sd
  sdEQFXB[i] <- sd(MSCIn[k:j])/sd(FXBn[k:j]) #+1M sd
  hd[1] <- -corEQFXB[1]*sdEQFXB[1]
  hd[i] <- -corEQFXB[i]*sdEQFXB[i] #hedge ratio
  hFXB[1:4] <- hd[1]*FXBn[1:4]
  hFXB[k:j] <- hd[i]*FXBn[k:j]
}

#################################################################
#################################################################
#Optimized metode

#Statisk optimized FXHEDGE
SigmaFX <- cov(CCYexcess)
SigmaEQFX <- cov(weeklyReturn(tsMSCI)-CASHrates$EUCASHRETURN,CCYexcess)
SigmaFX <- as.matrix(SigmaFX,10,10)
SigmaEQFX <- as.matrix(SigmaEQFX, 10,1) #matrix.form
#w_hedge (Optimized)
whedge <- -inv(SigmaFX) %*% t(SigmaEQFX)
FXB_optimizedn <- as.numeric(t(whedge) %*% as.matrix(t(CCYexcess)))

#Dynamisk optimized FXHEDGE

#Dynamisk kovariansmatrix
dyn.cov(as.matrix(CCYexcess))
#correlationshrinkage <- 0.25 (Boudoukh et al. (2019) correlation shrinkage
   assumpt.)
#hvis maanedlig rebalancering -> *singularitetsproblem...*
#Inversion af regulaer kovariansmatrix kraeves

#Optimized metode
k <- 1
j <- 4
lengthopt <- round(length(tsMSCI)/rebalance)-1
length <- length(tsMSCI)
wOPThedge <- rep(0, times=length)
whedgeD <- matrix(0,10,lengthopt)

for (i in 1:lengthopt)
```

```
{
  SigmaFX <- dyn.cov(as.matrix(CCYexcess[k:j,]))
  SigmaEQFX <- cbind(as.numeric(weeklyReturn(tsMSCI)[k:j]-CASHrates$
     EUCASHRETURN[k:j]),CCYexcess[k:j,])
  SigmaEQFX <- dyn.cov(as.matrix(SigmaEQFX))
  SigmaFX <- as.matrix(SigmaFX,10,10)
  SigmaEQFX <- as.matrix(SigmaEQFX[2:11,1], 10,1) #matrix.form
  whedgeD[,i] <- -inv(SigmaFX) %*% SigmaEQFX
  wOPThedge[k:j] <- t(whedgeD[,i])%*%t(CCYexcess[k:j,])
  j <- j+4
  k <- k+4
}

#4 MINVAR portefoeljer
par(mfrow=c(1,1))
plot(cumsum(as.numeric(weeklyReturn(tsMSCI)-CASHrates$EUCASHRETURN+h*FXBn))*
   100, type='l', ylim=c(-100,200), lty=3, ylab='Akkumulerede␣merafkast␣(i␣
   %)', xaxt='n', xlab='Tid')
lines(cumsum(as.numeric(weeklyReturn(tsMSCI)-CASHrates$EUCASHRETURN+hFXB))*
   100,lty=1)
lines(cumsum(as.numeric(weeklyReturn(tsMSCI)-CASHrates$EUCASHRETURN+FXB_
   optimizedn))*100, col='red',lty=3)
lines(cumsum(as.numeric(weeklyReturn(tsMSCI)-CASHrates$EUCASHRETURN+
   wOPThedge))*100, col='red', lty=1)
axis(1,at=1:length, round(timeline), tick=F)

#VaR ikke-parametrisk (eksempel: FXHEDGE)
alpha = 0.05
q = as.numeric(quantile(wOPThedge, alpha))
VAR_nonp=-1*q #1 EUR investeres
VAR_nonp

#ES ikke-parametrisk (eksempel: FXHEDGE)
UnderVAR = (wOPThedge < q) #afkast under q: (a-fraktil i returnfordeling)
sum(UnderVAR) #sum af alle afkast under q
ES_nonp = -1 * sum(wOPThedge * UnderVAR) / sum(UnderVAR)
ES_nonp

#MINVAR turnover
MINVARturn <- 0
for (j in 1:10)
{
  for(i in 1:(lengthopt-1))
  {
    MINVARturn <- MINVARturn+abs((whedgeD[j,i+1])-(whedgeD[j,i]))
  }
}
```

```
#################################################################
#################################################################
#################################################################
#################################################################
#Momentum

#ACF beregninger
par(mfrow=c(3,4))

for (i in 1:10)
{
  acf(CCYexcess[,i], main = CCYnames[i])
}
par(mfrow=c(1,1))
acfvalues <- matrix(0,10,2)
lag <- 1
lag2 <- 12
for (i in 1:10)
{
  acfvalues[i,1] <- acf(CCYexcess[,i])[lag]$acf
  acfvalues[i,2] <- acf(CCYexcess[,i])[lag2]$acf
}

#Ljung Box Test (stationaritetstest)
Boxvalues <- matrix(0,10,2)
for (i in 1:10)
{
  Boxvalues[i,1] <- CCYnames[i]
  Boxvalues[i,2] <- Box.test(CCYexcess[,i], lag=4, type="Ljung-Box")$p.value
}

#Tidligere gns. merafkast < eller >
posmom <- matrix(0,months2,10)
negmom <- matrix(0,months2,10)
h <- 0
h1 <- 0
k <- 0
k1 <- 0
for (j in 1:10)
{
  h <- 1
  h1 <- 13
  k <- 12
  k1 <- 16
  for(i in 1:months2)
```

```
  {
    if(mean(CCYexcess[h:k,j]) > 0)
    {
      posmom[i,j] <- cumsum(CCYexcess[h1:k1,j])[4]
    }
    else if(mean(CCYexcess[h:k,j]) < 0)
    {
      negmom[i,j] <- cumsum(CCYexcess[h1:k1,j])[4]
    }
    h <- h + 4
    h1 <- h + 4
    k <- k + 4
    k1 <- k + 4
  }
}
is.na(posmom) <- posmom==0
pmommeans <- colMeans(posmom, na.rm=TRUE)*100
is.na(negmom) <- negmom==0
nmommeans <- colMeans(negmom, na.rm=TRUE)*100
counts <- cbind(pmommeans,nmommeans)

#################################################################
#################################################################

#Strategi 1
MOM <- rep(0,length(MSCI)-rebalance)

#Identifikation - simpel long-short
for (p in 1:10)
{
  CCYmommeans[p] <- mean(CCYexcess[1:lookback,p])
}
longmom1 <- which.max(CCYmommeans)
shortmom1 <- which.min(CCYmommeans)
for (i in 2:lengthmom-1)
{
  j <- i*rebalance
  k <- j-rebalance+1
  for (p in 1:10)
  {
    CCYmommeans[p] <- mean(CCYexcess[k:j,p])
  }
  longmom <- which.max(CCYmommeans)
  shortmom <- which.min(CCYmommeans)
  h2 <- j+rebalance
  h1 <-  k+rebalance
  MOM[1:4] <- CCYexcess[5:8,longmom1]-CCYexcess[5:8,shortmom1]
```

```
  MOM[k:j] <- CCYexcess[h1:h2,longmom]-CCYexcess[h1:h2,shortmom]
}

#Strategi 2 - ACF
Boxvalues <- matrix(0,10,2)
for (i in 1:10)
{
  Boxvalues[i,1] <- CCYnames[i]
  Boxvalues[i,2] <- Box.test(CCYexcess[,i], lag=4, type="Ljung-Box")$p.value
}
Boxvalues
which.max(Boxvalues[,2])
which.min(Boxvalues[,2])
MOM2 <- rep(0, length(MSCI))
MOM2 <- CCYexcess[,which.max(Boxvalues[,2])]-CCYexcess[,which.min(Boxvalues
    [,2])]

#Strategi 3 - 1 long-short
#Initialisering
j <- 1
k <- lookback
j1 <- 1
k1 <- 4
h1 <- lookback + 1
h2 <- lookback + 4

#Identifikation
for (i in 1:lengthmom)
{
  for (p in 1:10)
  {
    CCYmommeans[p] <- mean(CCYexcess[j:k,p])
  }
  longmom <- which.max(CCYmommeans)
  shortmom <- which.min(CCYmommeans)
  MOM[j1:k1] <- CCYexcess[h1:h2,longmom]-CCYexcess[h1:h2,shortmom]
  j <- j+3
  k <- k+4
  j1 <- j1 + 4
  k1 <- k1 + 4
  h1 <- h1 + 4
  h2 <- h2 + 4
}

#Strategi 4/5/6 - 3 long-short
#Initialisering
load("MOMdynoptim.Rdata")
```

```
CCYmommeans <- rep(0,10)
MOM <- rep(0,length(MSCI)-lookback)
j <- 1
k <- lookback
j1 <- 1
k1 <- rebalance
h1 <- lookback + 1
h2 <- lookback + rebalance
longmom <- matrix(0,3,lengthmom)
shortmom <- matrix(0,3,lengthmom)
MOMLONG <- matrix(0,lengthmom,10)
MOMSHORT <- matrix(0,lengthmom,10)

#Identifikation
for (i in 1:lengthmom)
  {
    for (p in 1:10)
    {
      #CCYmommeans[p] <- cumsum(CCYexcess[j:k,p])[lookback] #max lookback
         akkumuleret afkast
      #CCYmommeans[p] <- (spotrates[k,p]/spotrates[j,p])-1 #spot lookback
      CCYmommeans[p] <- mean(CCYexcess[j:k,p])/sd(CCYexcess[j:k,p]) #moving
         average relativt til sd

    }
    longmom[,i] <- which.maxn(CCYmommeans,3)
    shortmom[,i] <- which.minn(CCYmommeans,3)

    #Alphavaegte
    MOMLONG[i,t(longmom[,i])] <- MOMdynoptim[i,]
    MOMSHORT[i,t(shortmom[,i])] <- MOMdynoptim[i,]

    MOM[j1:k1] <- (MOMdynoptim[i,1]*CCYexcess[h1:h2,longmom[1,i]]+
                     MOMdynoptim[i,2]*CCYexcess[h1:h2,longmom[2,i]]+
                     MOMdynoptim[i,3]*CCYexcess[h1:h2,longmom[3,i]]
                   -MOMdynoptim[i,1]*CCYexcess[h1:h2,shortmom[1,i]]
                   -MOMdynoptim[i,2]*CCYexcess[h1:h2,shortmom[2,i]]
                   -MOMdynoptim[i,3]*CCYexcess[h1:h2,shortmom[3,i]])
    j <- j+reb
    k <- k+rebalance
    j1 <- j1 + rebalance
    k1 <- k1 + rebalance
    h1 <- h1 + rebalance
    h2 <- h2 + rebalance
  }
```

```
#################################################################
#################################################################
#################################################################
################################################################
#Carry

#Altid hedged (kort MSCI CCY, lang EUR)
par(mfrow=c(1,1))
timeline <- seq(2002, 2020,length=length(MSCI))
timeseriesMSCI <- cumsum(as.numeric(weeklyReturn(tsMSCI)-CASHrates$
   EUCASHRETURN))

#Identifikation af hoej- og lavrentevalutaer
maxcarry <- matrix(0,3,round(carryperiod))
mincarry <- matrix(0,3,round(carryperiod))
j <- 1
i <- 1
for (i in 1:round(carryperiod))
{
  maxcarry[,i] <- which.maxn(XIBOR[j,2:12],3)
  mincarry[,i] <- which.minn(XIBOR[j,2:12],3)
  j <- i * carrybalance
}

#Klyngeanalyse
par(mfrow=c(1,1))
#average linkage
plot(hclust(as.dist(1-abs(cor(CCYexcess))),method='average'),xlab='average␣
   linkage')
#complete linkage
#plot(hclust(as.dist(1-abs(cor(CCYexcess)))),xlab='complete linkage')

#Hoej carry outperformer
poscarry <- matrix(0,length(XIBOR$EUR3M),10)
negcarry <- matrix(0,length(XIBOR$EUR3M),10)
for (j in 1:10)
{
  xrow <- j+2
  for(i in 1:length(XIBOR$EUR3M))
  {
    if(XIBOR[i,xrow] > XIBOR$EUR3M[i])
    {
      poscarry[i,j] <- CCYreturns[i,j]
    }
    else if(XIBOR[i,xrow] < XIBOR$EUR3M[i])
    {
```

```
      negcarry[i,j] <- CCYreturns[i,j]
    }
  }
}
is.na(poscarry) <- poscarry==0
pcarmeans <- colMeans(poscarry, na.rm=TRUE)*100
is.na(negcarry) <- negcarry==0
ncarmeans <- colMeans(negcarry, na.rm=TRUE)*100

#################################################################
#################################################################

#Strategi 1 - EUR-neutral carry
#Illustrativt eksempel: USD
par(mfrow=c(1,1))
USDcarry <- rep(0,length(MSCI))
for (i in 1:length(MSCI))
{
  if (XIBOR$USD3M[i] > XIBOR$EUR3M[i])
  {
    USDcarry[i] <- CCYexcess$EUR.USD[i]
  }
  else if(XIBOR$USD3M[i] < XIBOR$EUR3M[i])
  {
    USDcarry[i] <- -CCYexcess$EUR.USD[i]
  }
}

#Carry-baseret hedging for alle CCY
par(mfrow=c(1,1))
CCYcarry <- matrix(0,length(MSCI),10)
k <- 3
for (j in 1:10)
{
  for (i in 1:length(MSCI))
  {
    if (XIBOR[i,k] > XIBOR$EUR3M[i])
    {
      CCYcarry[i,j] <- CCYexcess[i,j]
    }
    else if(XIBOR[i,k] < XIBOR$EUR3M[i])
    {
      CCYcarry[i,j] <- -CCYexcess[i,j]
    }
  }
  k <- k + 1
}
```

```
#Strategi 2 - 3 long-short
load("CARdynoptim.Rdata")
j <- 1
k <- carreb
highc <- matrix(0,3,carper)
lowc <- matrix(0,3,carper)
CARLONG <- matrix(0,carper,10)
CARSHORT <- matrix(0,carper,10)

for (i in 1:carper)
{
  highc[,i] <- which.maxn(XIBOR[j,3:12],3)
  lowc[,i] <- which.minn(XIBOR[j,3:12],3)
  highcadj <- highc+2
  lowcadj <- lowc+2
  #Alphavaegte
  CARLONG[i,t(highc[,i])] <- CARdynoptim[i,]
  CARSHORT[i,t(lowc[,i])] <- CARdynoptim[i,]

  CAR2[i] <- (CARdynoptim[i,1]*cumsum(CCYexcess[j:k,highc[1,i]])[carreb]
              +CARdynoptim[i,2]*cumsum(CCYexcess[j:k,highc[2,i]])[carreb]
              +CARdynoptim[i,3]*cumsum(CCYexcess[j:k,highc[3,i]])[carreb]
              -CARdynoptim[i,1]*cumsum(CCYexcess[j:k,lowc[1,i]])[carreb]
              -CARdynoptim[i,2]*cumsum(CCYexcess[j:k,lowc[2,i]])[carreb]
              -CARdynoptim[i,3]*cumsum(CCYexcess[j:k,lowc[3,i]])[carreb])

  j <- i*carreb+1
  k <- k + carreb
}

#Strategi 3 - carry efter beslutningsskema
par(mfrow=c(1,1))
for (i in 1:length(CAR2))
{
  for (j in 3:12)
  {
    if (XIBOR[k,j] > XIBOR$EUR3M[k])
    {
      NomCarry[i,j-2] <- cumsum(CCYexcess[k:ke,j-2])[4]
    }
    else if(XIBOR[k,j] < XIBOR$EUR3M[k])
    {
      NomCarry[i,j-2] <- cumsum(-CCYexcess[k:ke,j-2])[4]
    }
  }
  k <- k+nomreb
```

```
  ke <- ke +nomreb
}

#################################################################
#################################################################
#################################################################
#################################################################
#Value

#Beregning af valuemaal
fair <- matrix(0,length(PPP$PPPAUD),10) #fair value
VAR <- matrix(0,length(PPP$PPPAUD),10) #valuemaal
for (j in 2:11)
{
  for (i in 1:length(PPP$PPPAUD))
  {
    fair[i,j-1] <- ValueEUR[i,j+1]*(1+PPP[i,j]*-1)
    VAR[i,j-1] <- (fair[i,j-1]-ValueEUR[i,j+1])/ValueEUR[i,j+1]
  }
}

#################################################################
#################################################################

#Strategi 1 - 1 simpel long-short
VAR2 <- rep(0,length(PPP$PPPAUD))
for (i in 1:length(PPP$PPPAUD))
{
  VAR2[i] <- VARCCYret[i,which.max(VAR[i,])]-VARCCYret[i,which.min(VAR[i,])]
}

#Strategi 2 - 1 long-short
VAR2 <- rep(0,length(PPP$PPPAUD))
for (i in 1:length(PPP$PPPAUD))
{
    if (max(VAR[i,])>0)
    {
      VAR2[i] <- VARCCYret[i,which.max(VAR[i,])]-VARCCYret[i,which.min(VAR[i
          ,])]
    }
    else
    {
      VAR2[i] <- -VARCCYret[i,which.min(VAR[i,])]
    }
}

#Strategi 3 - 3 long-short
```

```
VAR2 <- rep(0,length(PPP$PPPAUD))
VARLONG <- matrix(0,length(PPP$PPPAUD),10)
VARSHORT <- matrix(0,length(PPP$PPPAUD),10)
load("VARdynoptim2.Rdata")

for (i in 1:length(PPP$PPPAUD))
{
  if (VAR[i,which.maxn(VAR[i,],3)[3]]>0)
  {
    VAR2[i] <- (VARdynoptim[i,1]*VARCCYret[i,which.maxn(VAR[i,],1)[1]]
               +VARdynoptim[i,2]*VARCCYret[i,which.maxn(VAR[i,],2)[2]]
               +VARdynoptim[i,3]*VARCCYret[i,which.maxn(VAR[i,],3)[3]]
               -VARdynoptim[i,1]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],1)[1]]
               -VARdynoptim[i,2]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],2)[2]]
               -VARdynoptim[i,3]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],3)[3]])
               #alphavaegte
               VARLONG[i,t(which.maxn(VAR[i,],3))] <- VARdynoptim[i,]
               VARSHORT[i,t(which.minn(VAR[i,],3))] <- VARdynoptim[i,]
  }
  else if (VAR[i,which.maxn(VAR[i,],2)[2]]>0)
  {
    VAR2[i] <- (-VARdynoptim[i,1]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],1)[1]]
                -VARdynoptim[i,2]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],2)[2]]
                -VARdynoptim[i,3]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],3)[3]]
                +sum(VARdynoptim[i,])/2*VARCCYret[i,which.maxn(VAR[i,],1)
                   [1]]
                +sum(VARdynoptim[i,])/2*VARCCYret[i,which.maxn(VAR[i,],2)
                   [2]])
                #alphavaegte
                VARLONG[i,t(which.maxn(VAR[i,],2))] <- sum(VARdynoptim[i,])/
                   2
                VARSHORT[i,t(which.minn(VAR[i,],3))] <- VARdynoptim[i,]
  }
  else if (VAR[i,which.maxn(VAR[i,],1)[1]]>0)
  {
    VAR2[i] <- (-VARdynoptim[i,1]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],1)[1]]
                -VARdynoptim[i,2]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],2)[2]]
                -VARdynoptim[i,3]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],3)[3]]
                +sum(VARdynoptim[i,])*VARCCYret[i,which.maxn(VAR[i,],1)[1]])
                #alphavaegte
                VARLONG[i,t(which.maxn(VAR[i,],1))] <- sum(VARdynoptim[i,])
                VARSHORT[i,t(which.minn(VAR[i,],3))] <- VARdynoptim[i,]
  }
  else
  {
    VAR2[i] <- (-VARdynoptim[i,1]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],1)[1]]
                -VARdynoptim[i,2]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],2)[2]]
```

```
                -VARdynoptim[i,3]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],3)[3]])
                #alphavaegte
                VARSHORT[i,t(which.maxn(VAR[i,],3))] <- VARdynoptim[i,]
  }
}

#################################################################
#################################################################
#################################################################
#################################################################
#MPMVO

#cor(FXhedge,EQ)
rho_EQFXH <- cor(wOPThedge,(weeklyReturn(tsMSCI)-CASHrates$EUCASHRETURN))

#Sharpe Ratio (EQ)
SR_EQ <- ((1+mean(weeklyReturn(tsMSCI)-CASHrates$EUCASHRETURN))^nweeks -1)*
   100/(sd(weeklyReturn(tsMSCI)-CASHrates$EUCASHRETURN)*sqrt(nweeks)*100)
#AQR antagelse
#SR_EQ <- 0.5

#Sortino (EQ)
EQret <- weeklyReturn(tsMSCI)-CASHrates$EUCASHRETURN
((1+mean(EQret))^nweeks -1)*100/(sd(EQret[EQret<0])*sqrt(nweeks)*100)

#FXALPHA
styleweight <- c(1/3, 1/3, 1/3)
FXALPHA <- styleweight[1]*MOM+styleweight[2]*CAR2+styleweight[3]*VAR2

#Sharpe Ratio (FXALPHA)
SR_FXALPHA <- ((1+mean(FXALPHA))^nweeks - 1)*100/(sd(FXALPHA)*sqrt(nweeks)*
   100)
#SR_FXALPHA <- 0.3 #AQR assumption

#cor(FXALPHA,EQ)
rho_EQFXA <- cor(FXALPHA,EQ)

#k_opt
kopt <- sd(weeklyReturn(tsMSCI)-CASHrates$EUCASHRETURN)*sqrt(nweeks) * ((1-
   rho_EQFXH^2)/(SR_EQ-rho_EQFXA*SR_FXALPHA))

#MPMVO
MPMVO <- MINVAR + kopt*FXALPHA

#merafkast
MPMVOminusEQ <- (cumsum(MPMVO)-cumsum(EQ))
```

```
#max drawdown
maxdrawdown(MPMVO)
maxdrawdown(MINVAR)
maxdrawdown(weeklyReturn(tsMSCI)-CASHrates$EUCASHRETURN)
maxdrawdown(MOM)
maxdrawdown(CAR2)
maxdrawdown(VAR2)
maxdrawdown(FXALPHA)

#gearing MINVAR
(1+sum(abs(HedgeWeights)/100))/2

#gearing faktorer
(sum(colMeans(MOMLONG+MOMSHORT))*100)/2
(sum(colMeans(CARLONG+CARSHORT))*100)/2
(sum(colMeans(VARLONG+VARSHORT))*100)/2

#gearing FXALPHA
sum(1/3*colMeans(MOMLONG+MOMSHORT)*100+1/3*colMeans(CARLONG+CARSHORT)*100+1/
   3*colMeans(VARLONG+VARSHORT)*100)/2

#gearing MPMVO
(1+sum(abs(HedgeWeights)/100))/2 + kopt * 1/100*sum(1/3*colMeans(MOMLONG+
   MOMSHORT)*100+1/3*colMeans(CARLONG+CARSHORT)*100+1/3*colMeans(VARLONG+
   VARSHORT)*100)/2

#################################################################
#################################################################
#################################################################
#################################################################
#6M rullende korrelation
rollingcorr <- matrix(0, corrul, 4)

for (i in 1:corrul)
{
  rollingcorr[i,1] <- cor(EQ[k:j], MOM[k:j])
  rollingcorr[i,2] <- cor(EQ[k:j], CAR2[k:j])
  rollingcorr[i,3] <- cor(EQ[k:j], VAR2[k:j])
  rollingcorr[i,4] <- cor(EQ[k:j], FXALPHA)
  k <- k + M6
  j <- j + M6
}
colMeans(rollingcorr)

#Faktorkorrelation
rollingcorrstyles <- matrix(0, corrul, 3)
for (i in 1:corrul)
```

```
{
  rollingcorrstyles[i,1] <- cor(CAR2[k:j], MOM[k:j])
  rollingcorrstyles[i,2] <- cor(CAR2[k:j], VAR2[k:j])
  rollingcorrstyles[i,3] <- cor(MOM[k:j], VAR2[k:j])
  k <- k + M6
  j <- j + M6
}
rollingcorrstyles

#6M rullende volatilitet
rollingvol <- matrix(0, volrul, 4)
for (i in 1:volrul)
{
    rollingvol[i,1] <- sd(MPMVO[k:j])
    rollingvol[i,2] <- sd(MSCI[k:j])
    rollingvol[i,3] <- sd(MINVAR[k:j])
    rollingvol[i,4] <- sd(FXALPHA[k:j])
    k <- k + M6
    j <- j + M6
}

#################################################################
#################################################################
#################################################################
#################################################################
#Transaktionsomkostninger
bidask <- read.csv(file="bidask.csv", header=TRUE, sep=';')

#Gns bid/ask spreads (PIPS)
AUDspread <- (mean(bidask[,3]-bidask[,2]))*10000 #AUD
DKKspread <- (mean(bidask[,5]-bidask[,4]))*10000 #DKK
CADspread <- (mean(bidask[,7]-bidask[,6]))*10000 #CAD
JPYspread <- (mean(bidask[,9]-bidask[,8]))*10000 #JPY
NOKspread <- (mean(bidask[,11]-bidask[,10]))*10000 #NOK
NZDspread <- (mean(bidask[,13]-bidask[,12]))*10000 #NZD
SEKspread <- (mean(bidask[,15]-bidask[,14]))*10000 #SEK
CHFspread <- (mean(bidask[,17]-bidask[,16]))*10000 #CHF
GBPspread <- (mean(bidask[,19]-bidask[,18]))*10000 #GBP
USDspread <- (mean(bidask[,21]-bidask[,20]))*10000 #USD

#CCY bid/ask spreads
CCYbidask <- cbind(AUDspread, DKKspread, CADspread,
                   JPYspread, NOKspread, NZDspread,
                   SEKspread, CHFspread, GBPspread,
                   USDspread)
#indexed spreads
CCYbidask/CCYbidask[which.min(CCYbidask)]*100
```

```
#turnover FXALPHA
FXALPHAturn <- 0
for (j in 1:10)
{
  for(i in 1:(lengthopt-1))
  {
    FXALPHAturn <- FXALPHAturn+abs((walpha[i+1,j])-(walpha[i,j]))
  }
}
(1/lengthopt)*(FXALPHAturn)

#MPMVO turnover og transaktionsomkostninger
MPMVOturn <- 0
MPMVOcost <- 0
for (j in 1:10)
{
  for(i in 1:(lengthopt-1))
  {
    MPMVOturn <- MPMVOturn+abs((whedgeD[j,i+1]+kopt*walpha[i+1,j])-(whedgeD[
        j,i]+kopt*walpha[i,j]))
  }
  MPMVOcost <- MPMVOcost + (12/lengthopt)*(MPMVOturn) * (CCYbidask[j]/10000)
}
#turnover
(1/lengthopt)*(MPMVOturn)
(12/lengthopt)*(MPMVOturn)

#MPMVO transaktionsomkostninger
MPMVOcost*100
#breakeven - MPMVO minus EQ
(((1+mean(MPMVO))^12 - 1)*100)-((1+mean(weeklyReturn(tsMSCI)-CASHrates$
   EUCASHRETURN))^nweeks -1)*100
#MPMVO vs EQ efter transaktionsomkostninger
(((1+mean(MPMVO))^12 - 1)*100)-((1+mean(weeklyReturn(tsMSCI)-CASHrates$
   EUCASHRETURN))^nweeks -1)*100-MPMVOcost*100
```

```
#################################################################
#################################################################
#################################################################
#################################################################
#Momentum optimizer - statisk

MomentumSharpMaximizer <- function(MOMweight)
{
  #Initialization
  j <- 1
  k <- lookback
  j1 <- 1
  k1 <- rebalance
  h1 <- lookback + 1
  h2 <- lookback + rebalance
  MOMweight <- c(MOMweight[1],MOMweight[2],MOMweight[3])

  #Identifikation
  if( sum(MOMweight) <= 1.4) #gearing cap
  {
    for (i in 1:lengthmom)
    {
      for (p in 1:10)
      {
        #CCYmommeans[p] <- cumsum(CCYexcess[j:k,p])[lookback] #max lookback
           cummulative return
        #CCYmommeans[p] <- (spotrates[k,p]/spotrates[j,p])-1 #spot lookback
        CCYmommeans[p] <- mean(CCYexcess[j:k,p])/sd(CCYexcess[j:k,p]) #
           moving average relative to sd
      }
      longmom <- which.maxn(CCYmommeans,3)
      shortmom <- which.minn(CCYmommeans,3)

      MOM[j1:k1] <- (MOMweight[1]*CCYexcess[h1:h2,longmom[1]]+
                       MOMweight[2]*CCYexcess[h1:h2,longmom[2]]+
                       MOMweight[3]*CCYexcess[h1:h2,longmom[3]]
                     -MOMweight[1]*CCYexcess[h1:h2,shortmom[1]]
                     -MOMweight[2]*CCYexcess[h1:h2,shortmom[2]]
                     -MOMweight[3]*CCYexcess[h1:h2,shortmom[3]])
      j <- j+week
      k <- k+rebalance
      j1 <- j1 + rebalance
      k1 <- k1 + rebalance
      h1 <- h1 + rebalance
      h2 <- h2 + rebalance
    }
    #Sharpe ratio
```

```
    SHARP <- -((1+mean(MOM))^nweeks -1)*100/(sd(MOM)*sqrt(nweeks)*100)
  }
  else
  {
    SHARP <- 100000
  }
  return(SHARP)
}

start=c(1/3,1/3,1/3)
nlminb(start, MomentumSharpMaximizer, lower=c(0,0,0), upper=c(1.4,1.4,1.4))
#optim(start,MomentumSharpMaximizer, method="L-BFGS-B", lower=c(0,0,0),
   upper=c(1.4,1.4,1.4)))

#################################################################
#################################################################
#################################################################
#################################################################
#Momentum optimizer - dynamisk

MomentumSharpMaximizer2 <- function(MOMweight, lengthmom)
{
  #Initialisering
  j <- 1
  k <- lookback
  j1 <- 1
  k1 <- rebalance
  h1 <- lookback + 1
  h2 <- lookback + rebalance
  MOMweight <- c(MOMweight[1],MOMweight[2],MOMweight[3])

  #Identifikation
  if( sum(MOMweight) <= 1.4) #gearing cap
  {
    for (i in 1:lengthmom)
    {
      for (p in 1:10)
      {
        #CCYmommeans[p] <- cumsum(CCYexcess[j:k,p])[lookback] #max lookback
           cummulative return
        #CCYmommeans[p] <- (spotrates[k,p]/spotrates[j,p])-1 #spot lookback
        CCYmommeans[p] <- mean(CCYexcess[j:k,p])/sd(CCYexcess[j:k,p]) #
           moving average relative to sd
      }
      longmom <- which.maxn(CCYmommeans,3)
      shortmom <- which.minn(CCYmommeans,3)
```

```
      MOM[j1:k1] <- (MOMweight[1]*CCYexcess[h1:h2,longmom[1]]+
                       MOMweight[2]*CCYexcess[h1:h2,longmom[2]]+
                       MOMweight[3]*CCYexcess[h1:h2,longmom[3]]
                     -MOMweight[1]*CCYexcess[h1:h2,shortmom[1]]
                     -MOMweight[2]*CCYexcess[h1:h2,shortmom[2]]
                     -MOMweight[3]*CCYexcess[h1:h2,shortmom[3]])
      j <- j+week
      k <- k+rebalance
      j1 <- j1 + rebalance
      k1 <- k1 + rebalance
      h1 <- h1 + rebalance
      h2 <- h2 + rebalance
    }

    #Sharpe ratio
    SHARP <- -((1+mean(MOM))^nweeks -1)*100/(sd(MOM)*sqrt(nweeks)*100)
  }
  else
  {
    SHARP <- 100000
  }
  return(SHARP)
}

MOMdynoptim <- matrix(0, lengthmom, 3)
for (i in 1:lengthmom)
{
  start=c(1/3,1/3,1/3)
  MOMdynoptim[i,] <- nlminb(start, lengthmom=i, MomentumSharpMaximizer2,
     lower=c(0,0,0), upper=c(1.4,1.4,1.4))$par
}

#################################################################
#################################################################
#################################################################
#################################################################
#Carry optimizer - statisk

CarrySharpMaximizer <- function(CARw)
{
  #Initialisering
  j <- 1
  k <- carreb
  CARw <- c(CARw[1],CARw[2],CARw[3])

  #Identifikation
  if(sum(CARw) <= 1.4) #gearing cap
```

```
  {
    for (i in 1:carper)
    {
      highc <- 0
      lowc <- 0
      highc <- which.maxn(XIBOR[j,3:12],3)
      lowc <- which.minn(XIBOR[j,3:12],3)
      highcadj <- highc+2
      lowcadj <- lowc+2

      CAR2[i] <- (CARw[1]*cumsum(CCYexcess[j:k,highc[1]])[carreb]
                  +CARw[2]*cumsum(CCYexcess[j:k,highc[2]])[carreb]
                  +CARw[3]*cumsum(CCYexcess[j:k,highc[3]])[carreb]
                  -CARw[1]*cumsum(CCYexcess[j:k,lowc[1]])[carreb]
                  -CARw[2]*cumsum(CCYexcess[j:k,lowc[2]])[carreb]
                  -CARw[3]*cumsum(CCYexcess[j:k,lowc[3]])[carreb])

      j <- i*carreb+1
      k <- k + carreb
    }
    SHARP <- -((1+mean(CAR2))^LIBORfreq -1)*100/(sd(CAR2)*sqrt(LIBORfreq)*
       100)
  }
  else
  {
    SHARP <- 100000
  }
  return(SHARP)
}

start=c(1/3,1/3,1/3)
nlminb(start, CarrySharpMaximizer, lower=c(0,0,0), upper=c(1.4,1.4,1.4))
#optim(start,CarrySharpMaximizer, method="L-BFGS-B", lower=c(0,0,0), upper=c
   (1.4,1.4,1.4))

#################################################################
#################################################################
#################################################################
#################################################################
#Carry optimizer - dynamisk

CarrySharpMaximizer2 <- function(CARw, carper)
{
  #Initialisering
  j <- 1
  k <- carreb
  CARw <- c(CARw[1],CARw[2],CARw[3])
```

```
  #Identifikation
  if( sum(CARw) <= 1.4) #gearing cap
  {

    for (i in 1:carper)
    {
      highc <- 0
      lowc <- 0
      highc <- which.maxn(XIBOR[j,3:12],3)
      lowc <- which.minn(XIBOR[j,3:12],3)
      highcadj <- highc+2
      lowcadj <- lowc+2

      CAR2[i] <- (CARw[1]*cumsum(CCYexcess[j:k,highc[1]])[carreb]
                  +CARw[2]*cumsum(CCYexcess[j:k,highc[2]])[carreb]
                  +CARw[3]*cumsum(CCYexcess[j:k,highc[3]])[carreb]
                  -CARw[1]*cumsum(CCYexcess[j:k,lowc[1]])[carreb]
                  -CARw[2]*cumsum(CCYexcess[j:k,lowc[2]])[carreb]
                  -CARw[3]*cumsum(CCYexcess[j:k,lowc[3]])[carreb])
      j <- i*carreb+1
      k <- k + carreb
    }

    SHARP <- -((1+mean(CAR2))^nweeks-1)*100/(sd(CAR2)*sqrt(nweeks)*100)
  }
  else
  {
    SHARP <- 100000
  }

  return(SHARP)
}

CARdynoptim <- matrix(0, carper, 3)
for (i in 1:carper)
{
  start=c(1/3,1/3,1/3)
  CARdynoptim[i,] <- nlminb(start, carper=i, CarrySharpMaximizer2, lower=c
      (0,0,0), upper=c(1.4,1.4,1.4))$par
}
```

```
#################################################################
#################################################################
#################################################################
################################################################
#Value optimizer - statisk

ValueSharpMaximizer <- function(VARw)
{
  VAR2 <- rep(0,length(PPP$PPPAUD))
  VARw <- c(VARw[1],VARw[2],VARw[3])

  if( sum(VARw) <= 1.5) #gearing cap
  {
    for (i in 1:length(PPP$PPPAUD))
    {
      if (VAR[i,which.maxn(VAR[i,],3)[3]]>0)
      {
        VAR2[i] <- (VARdynoptim[i,1]*VARCCYret[i,which.maxn(VAR[i,],1)[1]]
                    +VARdynoptim[i,2]*VARCCYret[i,which.maxn(VAR[i,],2)[2]]
                    +VARdynoptim[i,3]*VARCCYret[i,which.maxn(VAR[i,],3)[3]]
                    -VARdynoptim[i,1]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],1)[1]]
                    -VARdynoptim[i,2]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],2)[2]]
                    -VARdynoptim[i,3]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],3)[3]])
        #alphavaegte
        VARLONG[i,t(which.maxn(VAR[i,],3))] <- VARdynoptim[i,]
        VARSHORT[i,t(which.minn(VAR[i,],3))] <- VARdynoptim[i,]
      }
      else if (VAR[i,which.maxn(VAR[i,],2)[2]]>0)
      {
        VAR2[i] <- (-VARdynoptim[i,1]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],1)[1]]
                    -VARdynoptim[i,2]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],2)[2]]
                    -VARdynoptim[i,3]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],3)[3]]
                    +sum(VARdynoptim[i,])/2*VARCCYret[i,which.maxn(VAR[i
                        ,],1)[1]]
                    +sum(VARdynoptim[i,])/2*VARCCYret[i,which.maxn(VAR[i
                        ,],2)[2]])
        #alphavaegte
        VARLONG[i,t(which.maxn(VAR[i,],2))] <- sum(VARdynoptim[i,])/2
        VARSHORT[i,t(which.minn(VAR[i,],3))] <- VARdynoptim[i,]
      }
      else if (VAR[i,which.maxn(VAR[i,],1)[1]]>0)
      {
        VAR2[i] <- (-VARdynoptim[i,1]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],1)[1]]
                    -VARdynoptim[i,2]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],2)[2]]
                    -VARdynoptim[i,3]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],3)[3]]
                    +sum(VARdynoptim[i,])*VARCCYret[i,which.maxn(VAR[i,],1)
                        [1]])
```

```
        #alphavaegte
        VARLONG[i,t(which.maxn(VAR[i,],1))] <- sum(VARdynoptim[i,])
        VARSHORT[i,t(which.minn(VAR[i,],3))] <- VARdynoptim[i,]
      }
      else
      {
        VAR2[i] <- (-VARdynoptim[i,1]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],1)[1]]
                    -VARdynoptim[i,2]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],2)[2]]
                    -VARdynoptim[i,3]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],3)[3]])
        #alphavaegte
        VARSHORT[i,t(which.maxn(VAR[i,],3))] <- VARdynoptim[i,]
      }
    }
    SHARP <- -(((1+mean(VAR2))^nweeks - 1)*100)/(sd(VAR2)*sqrt(nweeks)*100)
  }
  else
  {
    SHARP <- 100000
  }

  return(SHARP)
}

start=c(1/3,1/3,1/3)
nlminb(start, ValueSharpMaximizer, lower=c(0,0,0), upper=c(1.5,1.5,1.5))
#optim(start,ValueSharpMaximizer, method="L-BFGS-B", lower=c(0,0,0), upper=c
   (1.5,1.5,1.5))

#################################################################
#################################################################
#################################################################
#################################################################
#Value optimizer - dynamisk

ValueSharpMaximizer2 <- function(VARw, PPPlength)
{
  VAR2 <- rep(0,PPPlength)
  VARw <- c(VARw[1],VARw[2],VARw[3])

  if( sum(VARw) <= 1.5) #gearing cap
  {
    for (i in 1:length(PPP$PPPAUD))
    {
      if (VAR[i,which.maxn(VAR[i,],3)[3]]>0)
      {
        VAR2[i] <- (VARdynoptim[i,1]*VARCCYret[i,which.maxn(VAR[i,],1)[1]]
                    +VARdynoptim[i,2]*VARCCYret[i,which.maxn(VAR[i,],2)[2]]
```

```
                  +VARdynoptim[i,3]*VARCCYret[i,which.maxn(VAR[i,],3)[3]]
                  -VARdynoptim[i,1]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],1)[1]]
                  -VARdynoptim[i,2]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],2)[2]]
                  -VARdynoptim[i,3]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],3)[3]])
      #alphavaegte
      VARLONG[i,t(which.maxn(VAR[i,],3))] <- VARdynoptim[i,]
      VARSHORT[i,t(which.minn(VAR[i,],3))] <- VARdynoptim[i,]
    }
    else if (VAR[i,which.maxn(VAR[i,],2)[2]]>0)
    {
      VAR2[i] <- (-VARdynoptim[i,1]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],1)[1]]
                  -VARdynoptim[i,2]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],2)[2]]
                  -VARdynoptim[i,3]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],3)[3]]
                  +sum(VARdynoptim[i,])/2*VARCCYret[i,which.maxn(VAR[i
                     ,],1)[1]]
                  +sum(VARdynoptim[i,])/2*VARCCYret[i,which.maxn(VAR[i
                     ,],2)[2]])
      #alphavaegte
      VARLONG[i,t(which.maxn(VAR[i,],2))] <- sum(VARdynoptim[i,])/2
      VARSHORT[i,t(which.minn(VAR[i,],3))] <- VARdynoptim[i,]
    }
    else if (VAR[i,which.maxn(VAR[i,],1)[1]]>0)
    {
      VAR2[i] <- (-VARdynoptim[i,1]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],1)[1]]
                  -VARdynoptim[i,2]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],2)[2]]
                  -VARdynoptim[i,3]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],3)[3]]
                  +sum(VARdynoptim[i,])*VARCCYret[i,which.maxn(VAR[i,],1)
                     [1]])
      #alphavaegte
      VARLONG[i,t(which.maxn(VAR[i,],1))] <- sum(VARdynoptim[i,])
      VARSHORT[i,t(which.minn(VAR[i,],3))] <- VARdynoptim[i,]
    }
    else
    {
      VAR2[i] <- (-VARdynoptim[i,1]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],1)[1]]
                  -VARdynoptim[i,2]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],2)[2]]
                  -VARdynoptim[i,3]*VARCCYret[i,which.minn(VAR[i,],3)[3]])
      #alphavaegte
      VARSHORT[i,t(which.maxn(VAR[i,],3))] <- VARdynoptim[i,]
    }
  }
  SHARP <- -(((1+mean(VAR2))^nweeks - 1)*100)/(sd(VAR2)*sqrt(nweeks)*100)
     #sharpe
}
else
{
  SHARP <- 100000
```

```
  }

  return(SHARP)
}

VARdynoptim <- matrix(0, PPPlength, 3)
for (i in 1:PPPlength)
{
  start=c(1/3,1/3,1/3)
  VARdynoptim[i,] <- nlminb(start, PPPlength=i, ValueSharpMaximizer2, lower=
     c(0,0,0), upper=c(1.5,1.5,1.5))$par
}
```

10.2 Afkast- og risikomål

Sharpe ratio

Sharpe ratio måler det risikojusterede merafkast på en investering (risikopræmien pr. tidsenhed). For enhver portefølje, P, beregnes målet ved porteføljens merafkast relativt til standardafvigelsen på porteføljens merafkast:

$$SR_P = \frac{R_p - R_f}{\sigma_p}$$

Sortino ratio

Sortino ratio måler det risikojusterede merafkast i en portefølje, P, hvor risikojusteringen kun inkluderer de negative merafkast. Målet beregnes ved porteføljens merafkast relativt til standardafvigelsen på porteføljens negative merafkast:

$$SOR_P = \frac{R_p - R_f}{\sigma_d}$$

Skævhed

Skævhed er et mål for graden af asymmetri i en fordeling. Skævheden af en stokastisk variabel, Y, er givet ved:

$$Sk = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(\frac{Y_t - \bar{Y}}{s})^3$$

hvor $\bar{Y}$ er middelværdien, og s standardafvigelsen.

Kurtosis

Kurtosis er et mål for, hvor meget sandsynlighedsmasse, der er i halerne af en fordeling. Kurtosis af en stokastisk variabel, Y, er givet ved:

$$Kur = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(\frac{Y_t - \bar{Y}}{s})^4$$

hvor $\bar{Y}$ er middelværdien, og s standardafvigelsen.

Maximum drawdown

Maximum drawdown angiver det maksimale procentvise fald fra toppunkt (T) til efterfølgende lavpunkt (L) for en given portefølje, P:

$$MDD_P = \frac{L - T}{T}$$

Value-at-Risk (VaR)

Value-at-Risk er et fraktilmål, som udtrykker det maksimale tab, der kan opnås med sandsynlighed $1-\alpha\%$ over en given periode. Lad $\mathcal{L}$ angive tabsfordelingen med tidshorisont T. Da kan VaR defineres for et konfidensniveau α ved:

$$\mathrm{VaR}(\alpha) = \inf\{x : P(\mathcal{L} > x) \leq \alpha\}$$

For en kontinuert tabsfordeling er ovenstående ækvivalent med:

$$P(\mathcal{L} > \mathrm{VaR}(\alpha)) \leq \alpha$$

En ikke-parametrisk estimation af VaR baseres på α-fraktilen af de historiske merafkast ved:

$$\widehat{\mathrm{VaR}}(\alpha) = -S \cdot \hat{q}(\alpha)$$

hvor S er størrelsen af investeringen, og $\hat{q}(\alpha)$ er den estimerede α-fraktil i afkastfordelingen.

Expected Shortfall (ES)

Expected Shortfall er et mål for det forventede tab givet en halehændelse:

$$\mathrm{ES}(\alpha) = \int_0^\alpha \frac{\mathrm{VaR}(u)\,du}{\alpha}$$

For en kontinuert tabsfordeling er ovenstående ækvivalent med:

$$\mathrm{ES}(\alpha) = \mathbb{E}[\mathcal{L} \,|\, \mathcal{L} \geq \mathrm{VaR}(\alpha)]$$

En ikke-parametrisk estimation af ES kan beregnes ved et vægtet gennemsnit af tabene, givet tabene er større VaR:

$$\widehat{\mathrm{ES}}(\alpha) = \frac{\sum_{i=1}^n \mathcal{L}_i \, \mathbb{I}\{\mathcal{L}_i > \widehat{\mathrm{VaR}}(\alpha)\}}{\sum_{i=1}^n \mathbb{I}\{\mathcal{L}_i > \widehat{\mathrm{VaR}}(\alpha)\}}$$

hvor $\mathbb{I}$ er indikatorfunktionen, og $\widehat{\mathrm{VaR}}(\alpha)$ er det ikke-parametriske estimat af $\mathrm{VaR}(\alpha)$.

En ikke-parametrisk estimation baseres på fraktilen af de historiske afkast. Ved en ikke-parametrisk estimation af VaR og ES antages tabsfordelingen således ikke at tilhøre en parametrisk familie som normal- eller t-fordelingen.