



INHALTSVERZEICHNIS

Summary and Outlook	v
Abkürzungsverzeichnis	xi
Einleitung	1
1 Allgemeine Grundlagen	5
1.1 Ferromagnetismus	5
1.1.1 Quantisierte Magnetisierung	5
1.1.2 Austauschwechselwirkung	7
1.1.3 Pauli-Prinzip und Heisenberg-Modell	7
1.1.4 Bandmodell des Ferromagnetismus	9
1.1.5 Magnetische Anisotropie	12
1.2 Magnetische Domänen und Domänenwände	14
1.2.1 Verschiedene Domänenwand-Typen	15
1.2.2 Die magnetische Vortex-Struktur	16
1.3 Magnetisierungsdynamik	21
1.3.1 LLG-Gleichung	21
1.3.2 Spinwellen	25
1.4 Grundlagen der Vortexkern-Dynamik	28
1.4.1 (Sub-GHz)-Gyromode	28
1.4.2 Spinwellen in Vortex-Strukturen	29
1.5 Umschalten der Vortexkern-Polarität	33
1.5.1 Statisches Umschalten der Polarität	33
1.5.2 Umschalten durch Anregung der Gyromode	33



1.5.3	Umschalten der Polarität induziert durch Spinwellen	37
1.6	Simulationen	41
1.6.1	Object Orientated MicroMagnetic Framework	41
1.6.2	MuMax2	42
1.6.3	COMSOL	43
2	Experimentelle Grundlagen	45
2.1	Zirkularer Röntgendichrosimus: XMCD	46
2.1.1	Übergangswahrscheinlichkeit	46
2.1.2	Grundlagen des XMCD-Effekts	47
2.2	Magnetische Transmissionsröntgenmikroskopie	51
2.2.1	Elektronsynchrotron (BESSY II)	51
2.2.2	Funktionsweise eines STXM	55
2.2.3	MAXYMUS	58
2.3	Probenpräparation	61
2.3.1	Permalloy	61
2.3.2	Membranen	61
2.3.3	Probenpräparation für Messungen zum strominduzierten Schalten	61
2.3.4	Proben für Messungen mit kombinierter Anregung	64
2.4	Experimenteller Aufbau	64
2.4.1	GHz-Setup	65
2.4.2	GHz-Platine	67
2.4.3	Berechnung von Stromdichte bzw. Magnetfeld	68
3	Kombinierte Anregung von Gyromode und Spinwellen	73
3.1	Messung der Resonanzfrequenz der Gyromode	74
3.2	Elektrisches Anregungsschema	76
3.3	CW Spinwellen-Anregung	80
3.4	Simulationen zur CW-Anregung	83
3.4.1	Erklärung der breitbandigen Schaltschwellen-Absenkung	84



3.4.2	Erklärung des zusätzlichen Minimums in der Schaltschwelle	86
3.5	CCW-Spinwellen-Anregung	95
3.5.1	Erklärung der neuen Effekte im CCW-Fall	98
3.6	Zusammenfassung: kombinierte Anregung	102
4	Strominduziertes Schalten des Vortexkerns	103
4.1	Theoretische Grundlagen	104
4.2	Erweiterung der LLG-Gleichung	109
4.2.1	Adiabatischer STT-Term	110
4.2.2	Nicht-adiabatischer STT-Term	110
4.2.3	Vergleich des adiabatischen mit dem nicht-adiabatischen STT-Term für eine Vortex-Struktur	113
4.3	Oersted-Feld	113
4.3.1	Homogene Stromverteilung	115
4.3.2	Inhomogene Stromverteilung	116
4.3.3	Einfluss der realen Probengeometrie auf das asymmetrische Oersted-Feld	117
4.4	Literaturdiskussion zu den bisherigen Experimenten	121
4.5	Bemerkungen zum Vortexkern-Schalten mit direkter Strom-Anregung	125
4.6	Schalten induziert durch eine rotierende Gyromoden-Anregung	127
4.6.1	Experimente mit der strominduzierten rotierenden Gyromode	127
4.6.2	Einfluss der Chiralität	130
4.6.3	Simulationen mit rotierender Gyromodenanregung	131
4.6.4	Simulationen mit rotierender Gyromoden-Anregung und asymmetrischem Oersted-Feld	134
4.7	Experimente zum strominduzierten Schalten mit Spinwellen	137



4.8	Simulationen zum strominduzierten Schalten mit Spinwellen	141
4.8.1	Simulationen mit 'reiner STT'-Anregung . . .	141
4.8.2	Simulationen mit strominduzierter rotierender Spinwellen-Anregung und symmetrischem Oersted-Feld	147
4.8.3	Simulationen mit zusätzlichem effektivem Magnetfeld	149
4.8.4	Erklärung der hohen Schaltschwelle mit 'reinem STT'-Effekt	151
4.8.5	Einfluss des nicht-adiabatischen Terms	154
4.9	Zusammenfassung: Strominduziertes Schalten	157
	Zusammenfassung und Ausblick	159
	Literaturverzeichnis	165
	Abbildungsverzeichnis mit zugehörigen Quellen	181
	Liste der Veröffentlichungen	183