

**Inhaltsverzeichnis**

**Abbildungsverzeichnis ..... XIII**

**Tabellenverzeichnis ..... XIX**

**Abkürzungsverzeichnis ..... XX**

**Formel- und Symbolverzeichnis ..... XXII**

**1 Einleitung und Zielsetzung ..... 1**

    1.1 Problemstellung ..... 1

    1.2 Zielsetzung und Inhalt der Arbeit ..... 2

        1.2.1 Zielsetzung ..... 2

        1.2.2 Aufbau der Arbeit ..... 4

**2 Staufetenbetrieb im Kontext von Hochwasserereignissen ..... 6**

    2.1 Ausbau großer Fließgewässer zu Staufetenketten und Betriebsziele von Staufeten ..... 6

        2.1.1 Historische Entwicklung des Fließgewässerausbaus ..... 6

        2.1.2 Stauanlagen und Nutzungsanforderungen ..... 7

        2.1.3 Steuerung von Staufeten im Hochwasserfall ..... 12

        2.1.4 Methodik der Scheitelreduzierung durch Staufetenmanagement ..... 13

    2.2 Hochwasserproblematik und Schutzmaßnahmen ..... 15

        2.2.1 Ursachen und Entstehung von Hochwasserkatastrophen ..... 15

        2.2.2 Einfluss des Klimawandels auf die Hochwassersituation ..... 18

        2.2.3 Hochwasserrisikomanagement und Einordnung des Staufetenmanagements ..... 24

        2.2.4 Hochwasservorhersage ..... 27

    2.3 Betrieb und Steuerung von Staufeten ..... 28

        2.3.1 Grundzüge der rechtlichen Rahmenbedingungen ..... 28

        2.3.2 Betriebliche Randbedingungen ..... 30

        2.3.3 Automatisierter Betrieb von Staufeten ..... 30

2.4 Angepasste Steuerung von Staustufen im Hochwasserfall und Steuerung von Flutpoldern .....	33
2.4.1 Prinzip der Scheitelminderung durch Volumenrückhalt .....	33
2.4.2 Angepasste Steuerung von Staustufen im Hochwasserfall – Stand der Forschung .....	35
2.4.3 Steuerung von Flutpoldern – Stand der Forschung .....	40
<b>3 Numerische Modellierung der Staustufenkette .....</b>	<b>44</b>
3.1 Vorbemerkung .....	44
3.2 Charakterisierung des Untersuchungsgebietes .....	45
3.2.1 Räumliche Einordnung und Einzugsgebiet .....	45
3.2.2 Abgelaufene Hochwasserereignisse .....	47
3.2.2.1 Hochwasserentstehung .....	47
3.2.2.2 Hochwasser 2002 .....	49
3.2.2.3 Hochwasser 2005 .....	50
3.2.2.4 Hochwasser 2013 .....	51
3.2.3 Ausbau des Inns mit Wasserkraftanlagen .....	52
3.3 1D-HN-Modellierung und Kopplung mit regelungstechnischen Elementen .....	56
3.3.1 Auswahl eines geeigneten Modellierungsverfahrens .....	56
3.3.2 Theoretische Grundlagen der HN-Modellierung .....	57
3.3.2.1 Vorgehen bei der numerischen Modellierung .....	57
3.3.2.2 Physikalische Grundgleichungen .....	57
3.3.2.3 Vereinfachungen der Grundgleichungen zu Saint-Venant-Gleichungen .....	59
3.3.2.4 Diskretisierung und numerische Lösungsverfahren .....	61
3.3.3 Modellierungswerkzeug Sim1D zur 1D-HN-Modellierung .....	63
3.4 Abbildung der Staustufenkette in einem komplexen Modell .....	65
3.4.1 Verwendete Datengrundlagen .....	65

3.4.1.1	Topographische Informationen .....	65
3.4.1.2	Hydrologische Daten .....	65
3.4.1.3	Informationen zu Staustufen und Wehrbetriebsordnungen...	67
3.4.1.4	Unsicherheiten von Messdaten .....	70
3.4.2	Modellaufbau .....	72
3.4.3	Kalibrierung des Kettenmodells .....	76
3.4.4	Validierung des Modells.....	82
3.5	Simulierte abgelaufene und stochastische Hochwasserereignisse .....	83
3.6	Integration der Wehrbetriebsordnungen .....	85
3.7	Einfluss einer Änderung der Sohltopographie .....	86
3.8	Hochwassermodellierung – Analyse der Laufzeiten .....	88
<b>4</b>	<b>Konzeption der Steuerungsvorgaben des Staustufenmanagements.....</b>	<b>91</b>
4.1	Vorbemerkung .....	91
4.2	Vorgehen und wesentliche Aspekte bei der Entwicklung einer Steuerungsvorschrift.....	91
4.2.1	Operationell verfügbare Eingangsdaten aus Hochwasservorhersage und Pegelwesen .....	91
4.2.2	Erstellung und Evaluierung von Steuerungsvorgaben .....	93
4.2.3	Berücksichtigung örtlicher Gegebenheiten und Einschränkungen.....	94
4.3	Definition des Staustufenmanagements .....	95
4.3.1	Berücksichtigte Staustufen .....	95
4.3.2	Auswertung von Vorhersagedaten.....	99
4.3.3	Abstauprozess .....	105
4.3.4	Aufstauprozess.....	107
<b>5</b>	<b>Staustufenmanagement zum Hochwasserrückhalt.....</b>	<b>110</b>
5.1	Varianten des Staustufenmanagements .....	110
5.1.1	Vorbemerkung .....	110
5.1.2	Variante I .....	111

5.1.3 Variante II .....	118
5.1.4 Variante III .....	125
5.2 Sensitivitätsuntersuchungen zum entwickelten Staustufenmanagement.....	134
5.2.1 Vorbemerkung .....	134
5.2.2 Veränderung des zeitlichen Bezuges für den Aufstauvorgang .....	135
5.2.3 Verfügbarkeitsszenarien bei Ausfall von Einzelanlagen .....	139
5.2.4 Verringerung des Abstaus an den Anlagen am unteren Inn .....	144
5.2.5 Ausbleiben des Aufstauvorganges an allen Staustufen .....	147
5.2.6 Beispielhafter Aufstauvorgang bei zweigipfligem Hochwasser.....	151
5.3 Umsetzungsaspekte des Staustufenmanagements .....	156
5.4 Zwischenfazit zum Staustufenmanagement.....	159
<b>6 Kombierter Betrieb von Staustufenmanagement und Flutpolder .....</b>	<b>161</b>
6.1 Einsatz von Flutpoldern und Scheitelminderung durch Flutpolderbetrieb..	161
6.2 Implementierung eines beispielhaften Flutpolders .....	162
6.2.1 Lage und Größe des betrachteten Flutpolders .....	162
6.2.2 Definition von Nebenbedingungen .....	163
6.3 Steuerungsvorgaben des Flutpolderbetriebes .....	165
6.3.1 Vorbemerkung .....	165
6.3.2 Messwertebasierte Steuerungsvorgaben .....	166
6.4 Alleiniger Flutpolderbetrieb und gemeinsamer Betrieb mit Staustufenmanagement .....	167
6.5 Zwischenfazit zum Flutpolderbetrieb und dessen gemeinsamem Betrieb mit Staustufenmanagement.....	176
<b>7 Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>178</b>
<b>Literatur.....</b>	<b>182</b>