

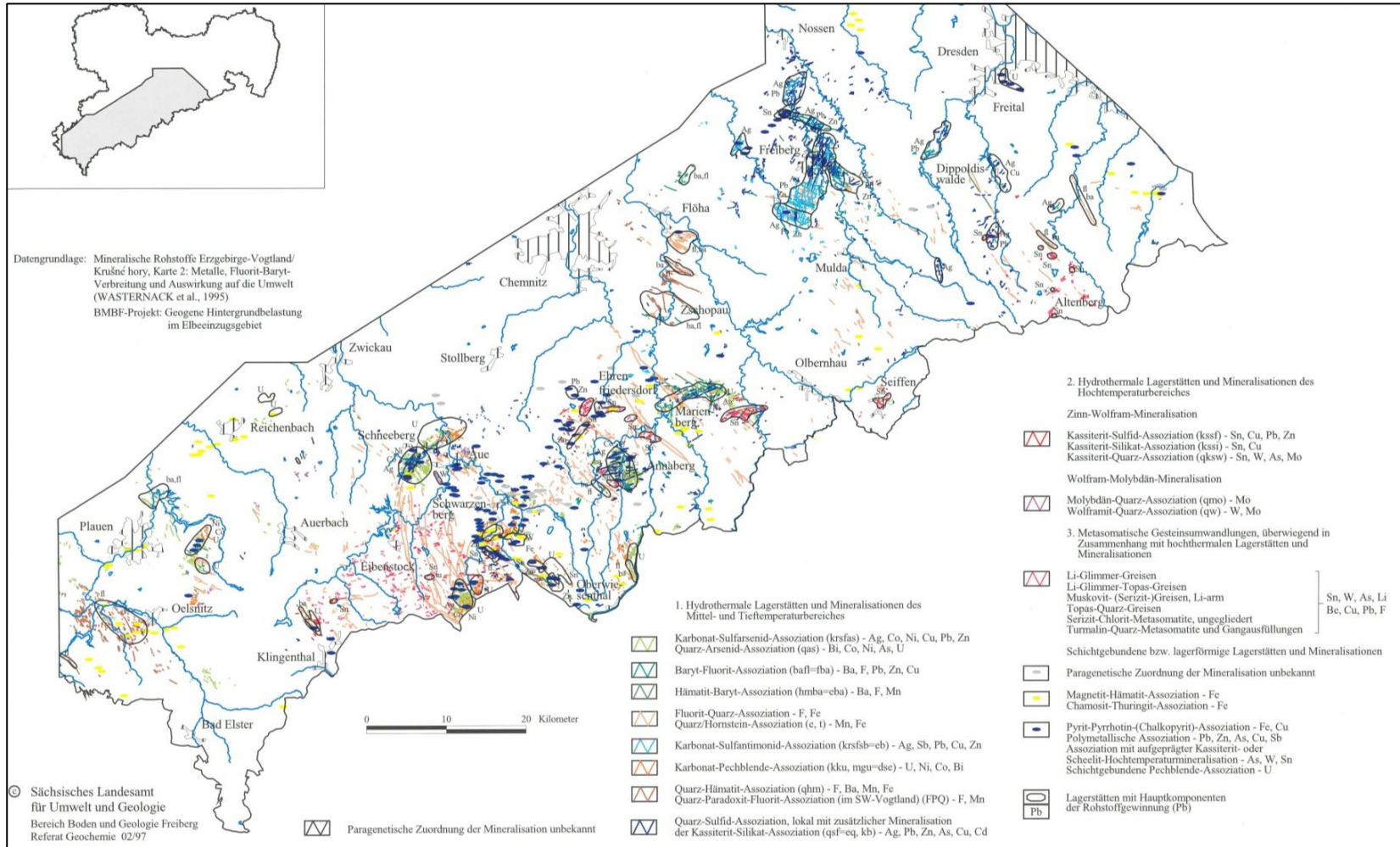
„Maßnahmenkombination zur Reduzierung von Stoffeinträgen am Beispiel des Rothschenberger Stollens

Dr. Rainer Sennewald und Mirko Martin

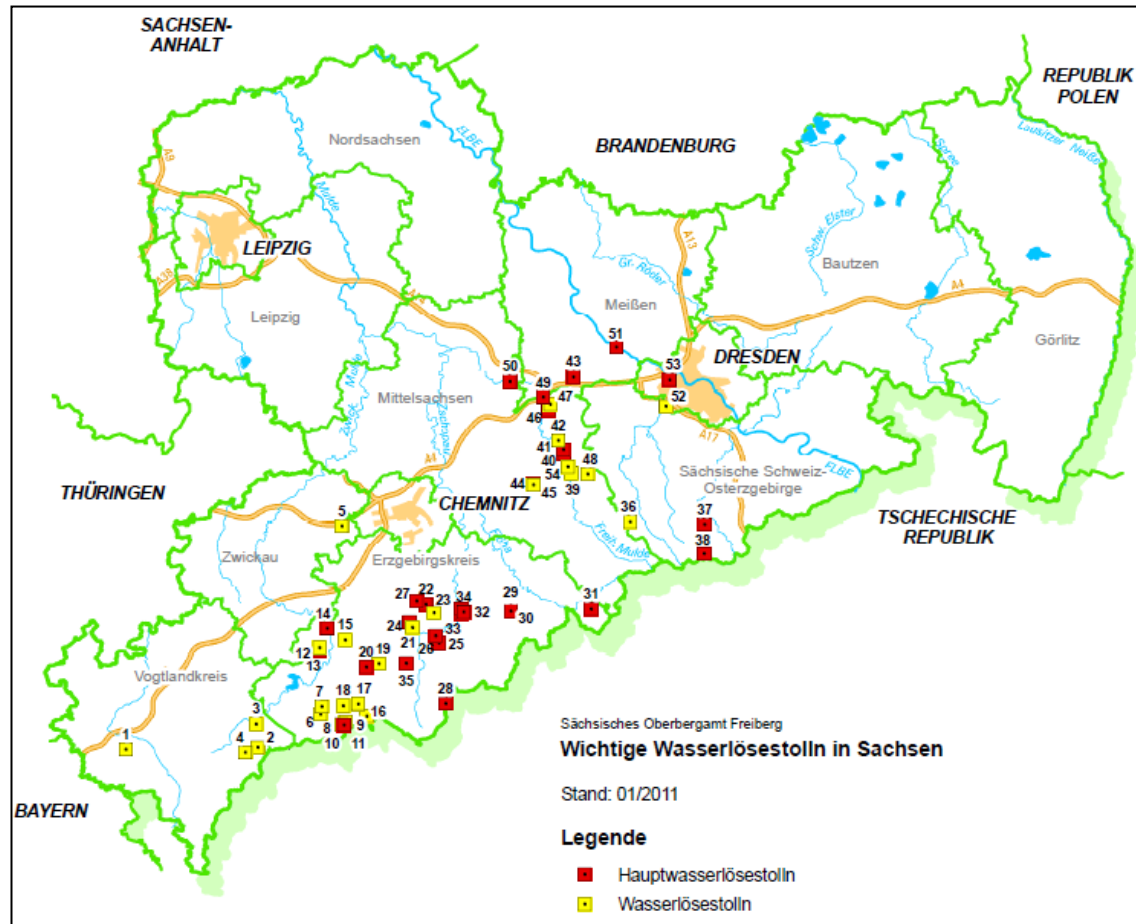
Gliederung

1. Übersicht
2. Beschreibung des Rothschönberger Stollns
3. Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen am Mundloch
4. Weitere Maßnahmen

Mineralisationen und Bergbaugebiete im sächsischen Erzgebirge (LfUG 1997)



Wichtige Wasserlösestellen im Erzgebirge



Historische Funktion von Wasserlösestellen:

- Abführung von zu fließenden Oberflächenwässern
- Abführung von Antriebswässern (Förderung, Wasserhaltung)

Heutige Funktion von Wasserlösestellen:

- Regelmäßige Ableitung von zufließenden Wässern aus den Untertage-Bereichen
- Sicherung der geotechnischen Stabilität

Rothschönberger Stolln

- tiefster Wasserlösestolln des Bergbaureviers Brand-Erbisdorf Freiberg – Halsbrücke
- 1844 bis 1882 aufgefahren
- mit Nebenanlagen Gesamtlänge von 50,9 km
- mittlerer Abfluss ca. 500 l/s (HHQ: 14.000 l/s am 12. August 2002 und NNQ: 80 l/s am 27. September 1942)

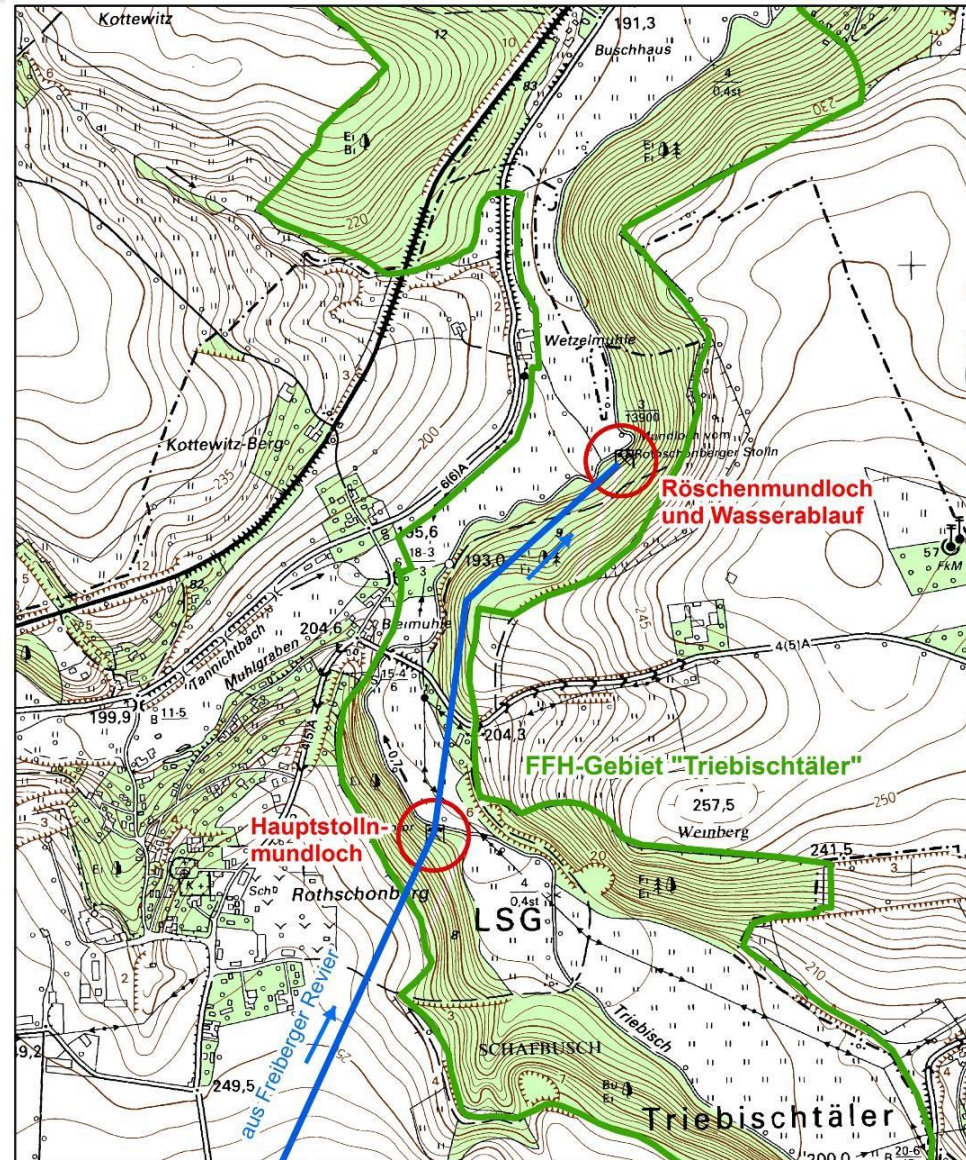
Heute:

- Hauptwasserlösestollen des Gebietes und muss dauerhaft als bergbauliche Entwässerungseinrichtung zur Gewährleistung von stabilen hydraulischen und geotechnischen Verhältnissen zum Schutz der Infrastruktur erhalten werden
- größte punktuelle Belastungsquelle für Schwermetalle aus dem Altbergbaugebiet des Freiburger Raums für das Schutzgut Oberflächenwasser

Ziel der Studie:

vor dem Hintergrund der Umsetzung der WRRL Möglichkeiten zur Schwermetallreduzierung aufzuzeigen, Schwerpunkt liegt auf dem Schwermetall Cadmium, das gemäß WRRL als prioritärer „gefährlicher Stoff“ eingestuft ist

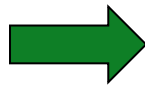
Rothschönberger Stolln



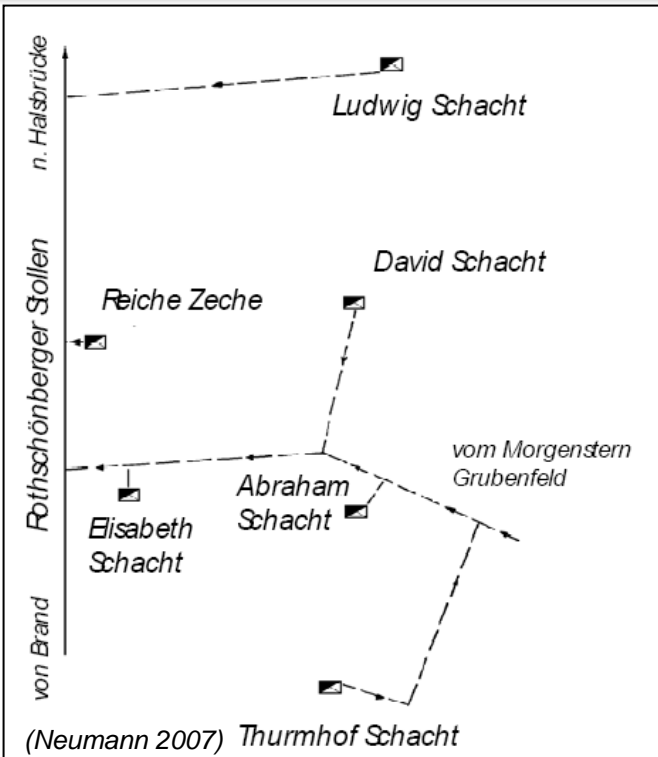
Statistische Auswertung der Elementgehalte 2004 - 2012

		Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	90-Perzentil	Umwelt-Qualitätsnorm (OGewV)
Silber	µg/l	< 0,1	0,3	< 0,1	< 0,1	0,13	0,02
Arsen	µg/l	10	66	18	14	29	-
Cadmium	µg/l	19	30	25	25	27	0,25
Kupfer	µg/l	14,0	63,0	23,4	22,0	31,1	-
Quecksilber	µg/l	< 0,02	0,12	< 0,02	< 0,02	0,03	0,03
Nickel	µg/l	17	45	36	38	41	20
Blei	µg/l	8,7	98,0	23,3	20,0	34,6	7,2
Antimon	µg/l	2,9	4,2	3,2	3,1	3,4	-
Zink	µg/l	3200	6100	4021	4000	4400	-

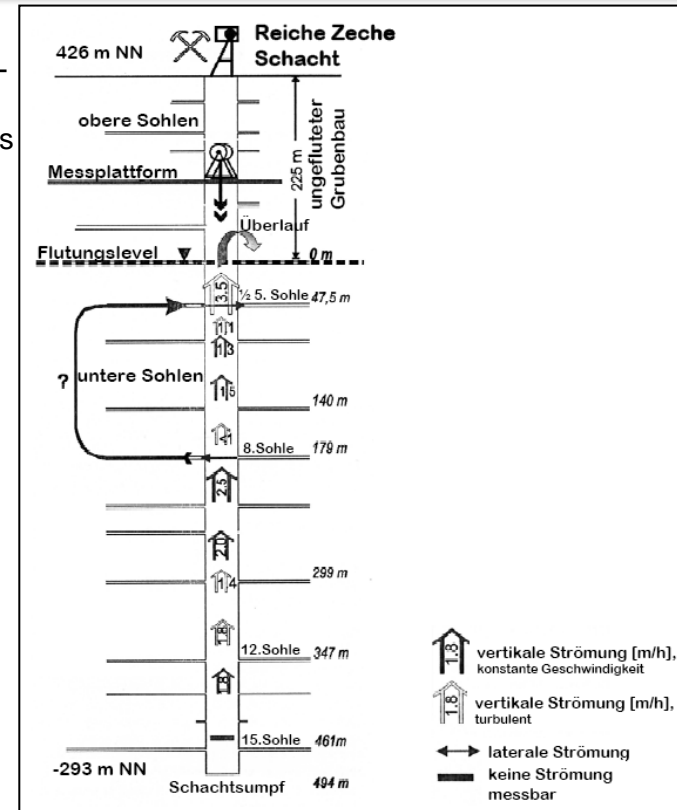
Cd als wichtigster Parameter:



- prioritärer gefährlicher Stoff nach WRRL
- hinsichtlich Wasserreinigung verfahrenstechnisch problematischstes Element
- größte Bedeutung für Abstrombereich (z.B. Hafen Hamburg)



Strömungsverhältnisse im Schacht Reiche Zeche (aus Neumann 2007)



Skizze der Schächte, die im Revier Freiberg an den RSS angeschlossen sind (aus Neumann 2007)

Schacht	Sohlhöhe des Rothschrnberger Stollns (m HN)
Reiche Zeche	198,56
Alte Elisabeth	199,10
Abraham Schacht	199,80
David Schacht	200,80
Turmhof Schacht	201,30



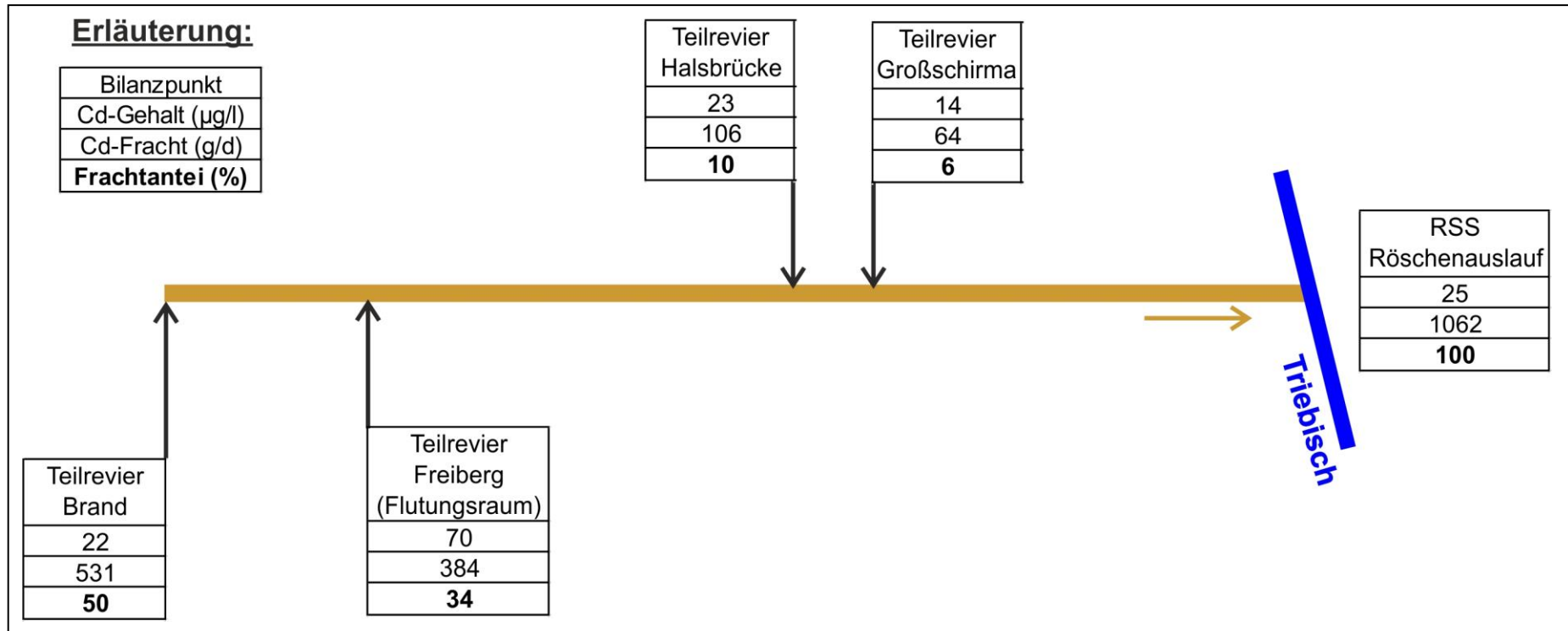
Sohlhöhen des RSS:

Sohle des RSS am Schacht Reiche Zeche ist tiefster Punkt

Resultat:

Wasser versinken in den anderen Schächten, steigen in der Reichen Zeche auf und fließen auf dem RSS ab

Bilanzierung der Cadmiumfrachten innerhalb des Rothschönberger Stollns (Daten aus Beuge et al. 2001)



- Etwa die Hälfte der Schwermetallfracht stammt aus dem Brander Revier und fließt über das Verspünden im König Johann Spat dem Rothschönberger Stolln zu
- Nur etwa 1/3 der Fracht entstammt dem Freiburger Teilrevier
- Der Anteil des Halsbrücke-Großschirmaer Teilreviers liegt bei nur 16 %

Randbedingungen

- Mittelwert des Cd-Gehalts: **25 µg/l**
- Cd-Fracht: 990 g/d \cong **362 kg/a**
- Anlagenkapazität: **2.880 m³/h** (entspricht **94,9%** des anfallenden Gesamtvolumens aus dem Rothschnberger Stollen)
- Behandlungszielwert: **1 µg/l** Cadmium (hergeleitet aus geogenem Hintergrundwert der Triebisch)

Varianten

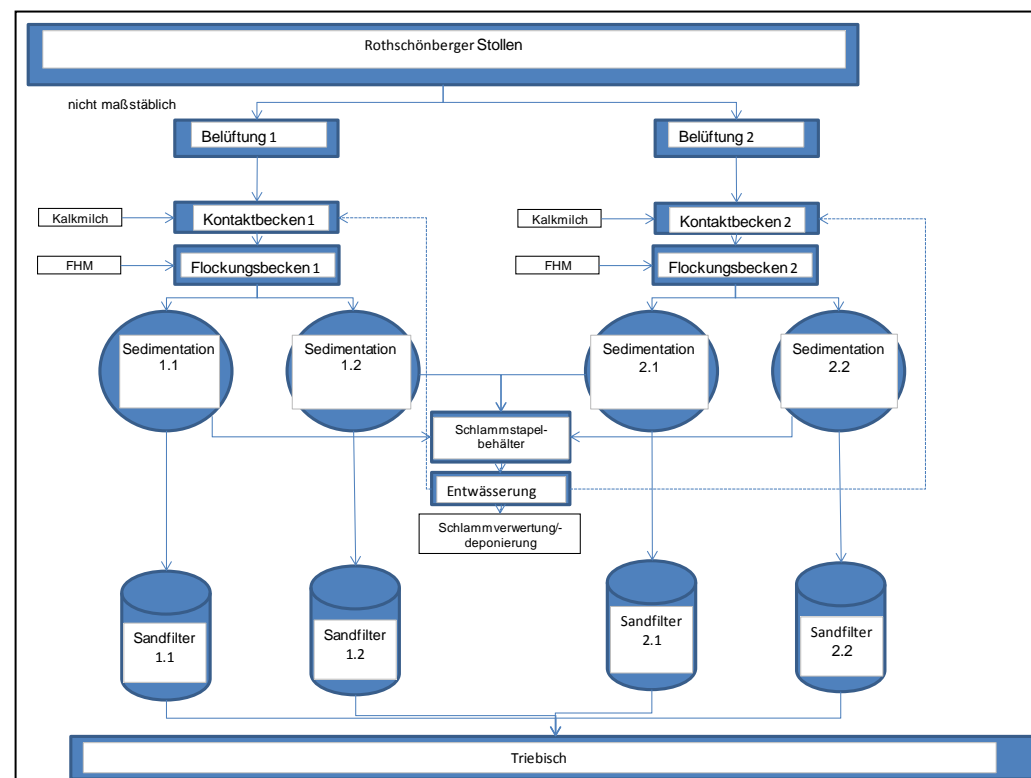
- Variante 1: Kombination Fällung + Sandfilter
- Variante 2: Kombination Nanofiltration und Fällung des Konzentrats
- Variante 3: Kombination Umkehrosmose und Fällung des Konzentrats
- Variante 4: Ionenaustauscher und Fällung des Regenerats
- Variante 5: Naturnahe Reinigungsmethoden (Wetlands)

„End-of-Pipe“-Varianten

- Variante 1: Kombination Fällung + Sandfilter
- Variante 2: Kombination Nanofiltration und Fällung des Konzentrats
- Variante 3: Kombination Umkehrosmose und Fällung des Konzentrats
- Variante 4: Ionenaustauscher und Fällung des Regenerats
- Variante 5: Naturnahe Reinigungsmethoden (Wetlands)

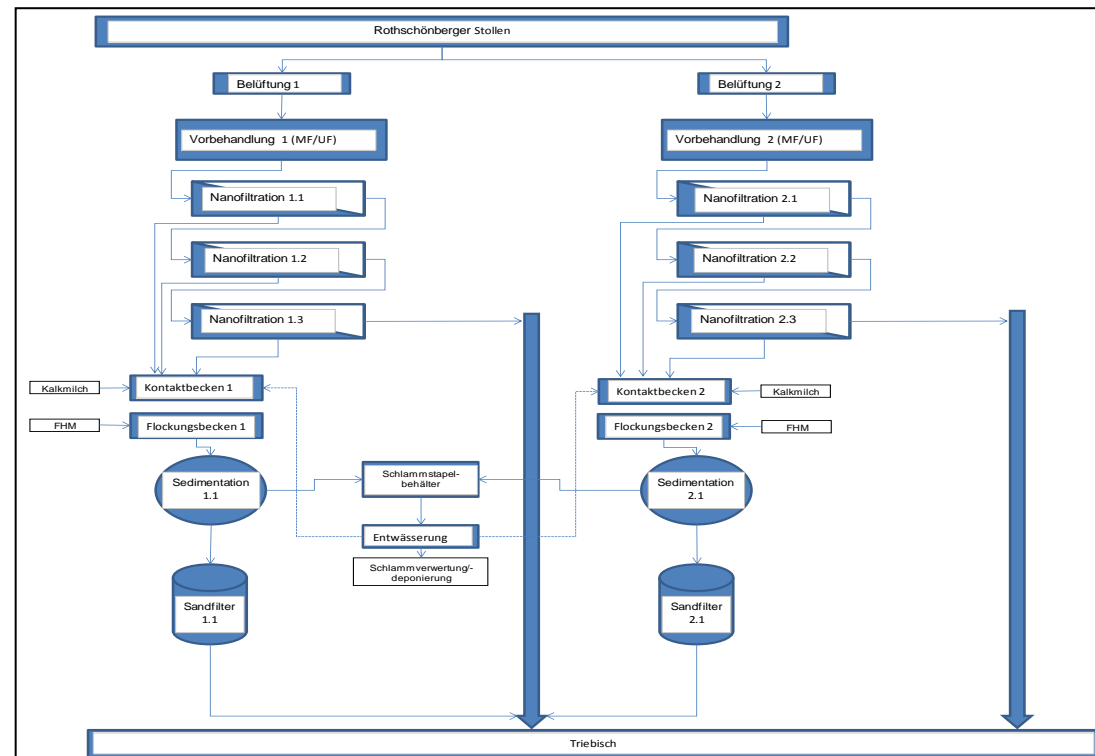
V1: Kombination Fällung und Sandfilter

- Vorbelüftung zur Entfernung des Hydrogencarbonates
- Fällung mit Kalkmilch-Lösung bis pH 8 und Sedimentation
- Filtration des Klarwassers über Travertin-Sandfilter
- ca.3.500 Tonnen Immobilisat pro Jahr



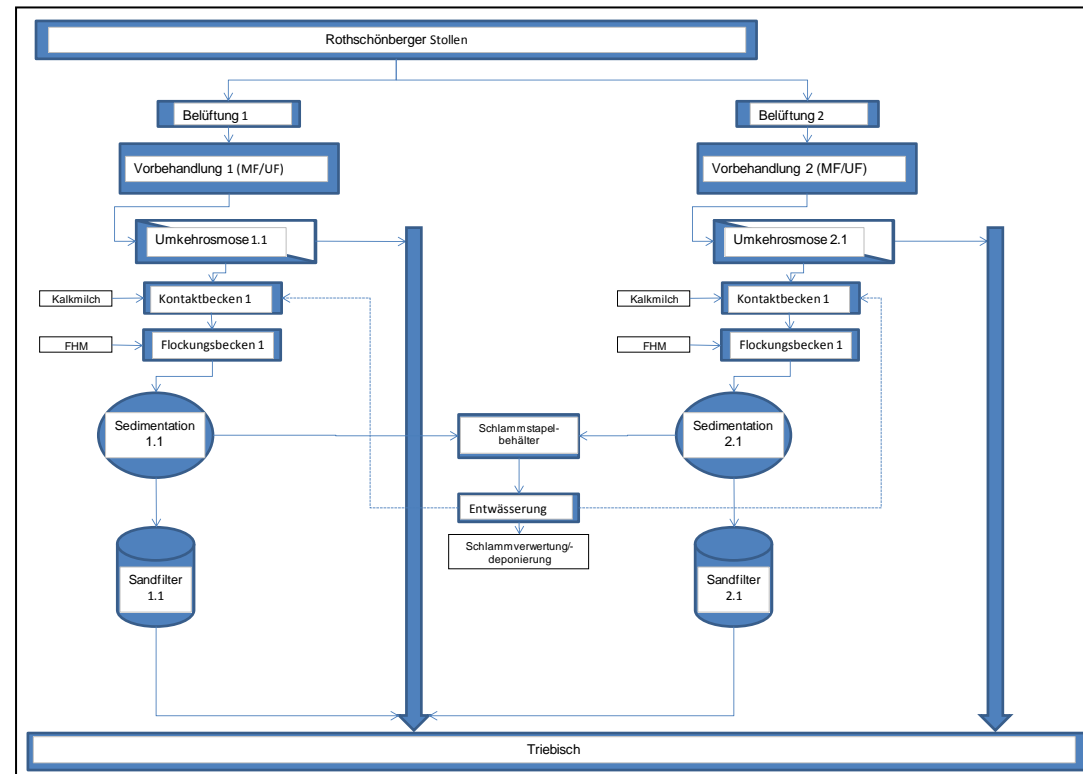
V2: Nanofiltration und Fällung

- Aufkonzentrierung in Nanofiltration
- Behandlung des Konzentrates mit Fällung/Filtration
- Aufgrund des Zielwertes und des Rückhaltes für Cadmium bei NF-Membranen ist eine dreistufige Nanofiltration erforderlich
- Nur 50% reines Permeat
- Konzentratstrom muss identisch zu Variante Fällung/Filtration behandelt werden
- Größenreduzierung bei Becken für Fällung und Filtration, aber hohe Anzahl an NF-Modulen nötig



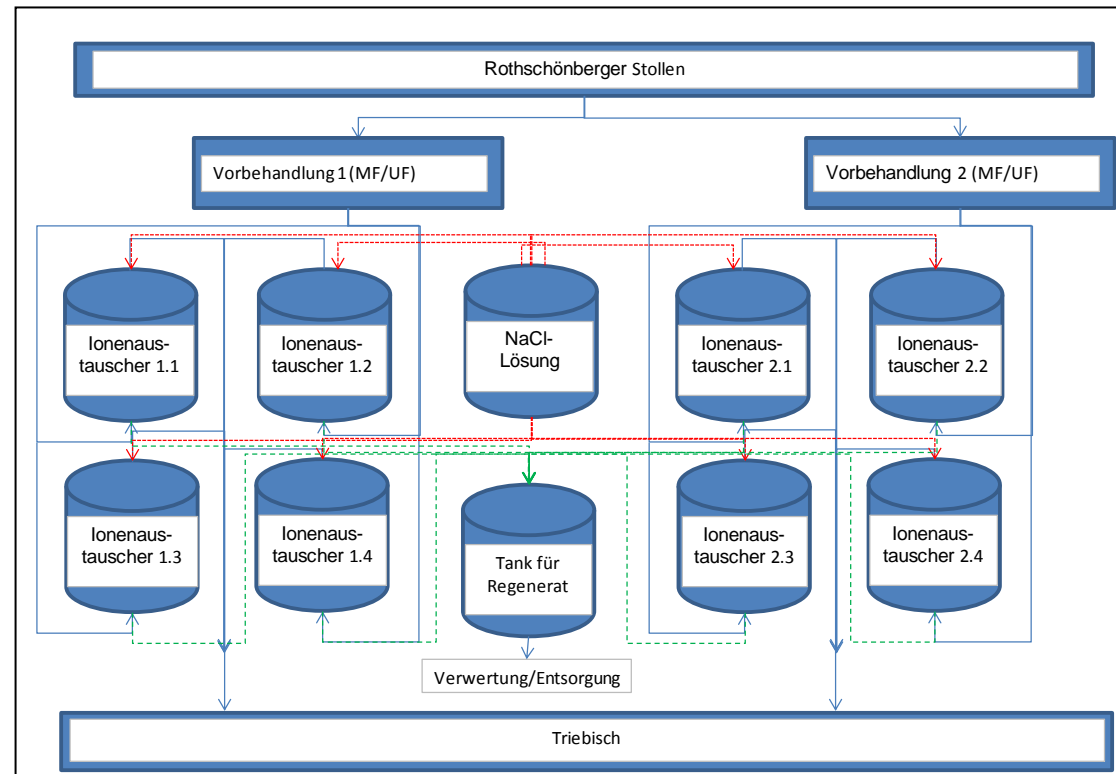
V3: Umkehrosmose und Fällung

- Einstufige Membranstufe ausreichend
- höherer Druck erforderlich
- Fällung und Filtration für Konzentrat notwendig
- 20% Beckengröße im Vergleich zur ausschließlichen Fällung/Filtration
- Keine Reduzierung bei Chemikalienverbrauch und Schlammfall



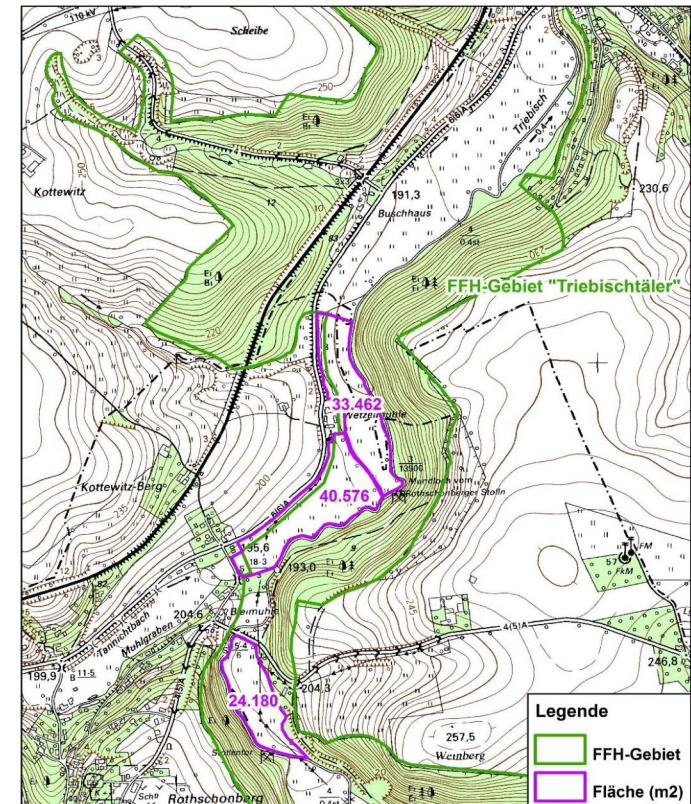
V4: Ionenaustausch

- Relativ geringe Ionenfrachten im Vergleich zu anderen Bergbauwässern lassen Ionenaustausch denkbar erscheinen
- Selektivitätsreihe Ionenaustauscher
Cd an 2. Stelle hinter Zn
- Keine Belüftung notwendig
- Regeneration jeder Einzelsäule
ca. 1x pro Jahr
- Regenerataufbereitung oder externe Entsorgung
(ca. 500 m³/Monat)

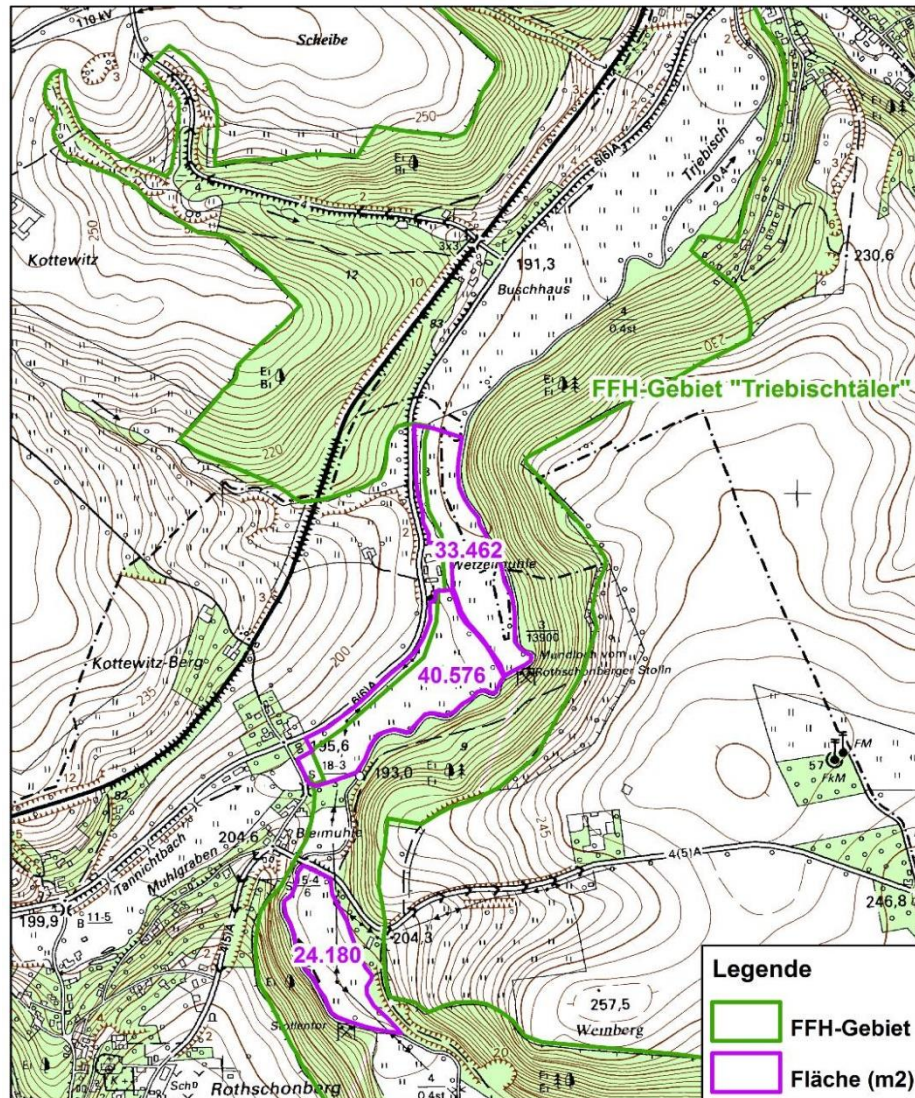


V5: Naturnahe Behandlung (Wetland)

- kombinierte Reinigungsleistung für Cd/Zn von 750 mg/m²*d
- 2 Behandlungsstränge
- Auslegung für 1.440 m³/h Wasser zur Behandlung pro Behandlungsstrang
- Flächenbedarf von zweimal ca. 187.000 m²
- Zusätzlich wird Platz für begleitende Infrastruktur benötigt
- Dieser Platz steht am Standort keinesfalls zur Verfügung
- → Ausscheiden dieser Variante ohne nähere Betrachtung von Kosten und Aufwand



Verfügbare Flächen



Variante	Flächenbedarf
1: Fällung und Filtration	1.300 m ²
2: Nanofiltration und Fällung	3.155 m ²
3: Umkehrosmose und Fällung	1.640 m ²
4: Ionenaustauscher	584 m ²
5: Wetland	410.222 m²

Flächenverhältnisse am Standort

Variante	Investitionskosten	Betriebskosten spez. Betriebskosten
1: Fällung und Filtration	11.016.940 €	4.312.637 € 0,25 €/m ³
2: Nanofiltration und Fällung	26.301.440 €	14.237.095 € 0,81 €/m ³
3: Umkehrosmose und Fällung	14.156.660 €	14.156.660 € 0,43 €/m ³
4: Ionenaustauscher	20.583.200 €	5.145.841 € 0,29 €/m ³

- Fällung kostengünstigstes Verfahren
- Kosten Membranverfahren im wesentlichen von Lebensdauer Module abhängig → konservative Schätzung

Mögliche Ansatzpunkte zur In situ-Beeinflussung der Wasserqualität des Rothschönberger Stollns

Zugabepunkt	Beschreibung	Bemerkungen
Davidsschacht über VGS-Sohle	Transport über VGS-Sohle zum Anschluss Davidsschacht, Einbringen über Zugabevorrichtung	sicherer, aber beschwerlicher Zugang, größere bergmännische Aufwältigungsarbeiten notwendig (Schlammberäumung in Flügel des VGS auf Neuglück Spat und Gesellschaft Flachem), relativ hoher Transportaufwand
Davidsschacht über Bohrung	Bohrung von übertage zum Davidsschacht unter die Schachtplombe, Zugabe über Rohrleitung in der Bohrung	Bohrung erforderlich, ansonsten problemlos
Turmhofschacht	Zugabe über die zugängliche Radstube in die Schachtröhre	Zugabemöglichkeit muss geklärt werden
Morgensterner Abrahamschacht	Transport über die Rösche zum Schacht, Einbringen mit Zusatzwasserstrom	tonnlägiger Schacht, Zugabe muss daher durch „Einspülen“ erfolgen

Ergebnisse der hydrogeochemischen Modellierung

Zugabe von Kalkmilch oder Natriumhydroxid jeweils kombiniert mit Natriumcarbonat, Berechnung der resultierenden Cd-Gehalte

Pos.	Ca(OH) ₂ -Zusatz (mg/l)	NaOH-Zusatz (mg/l)	Na ₂ CO ₃ -Zusatz (mg/l)	resultierender pH	resultierender Cd-Gehalt (µg/l)
	Flutungswasser			7,00	70
1	74	-	106	9,95	2,5
2	37	-	53	9,23	4,9
3	-	120	318	10,76	4
4	-	40	53	9,25	4,7

- Es werden pH-Werte von 9 – 11 erreicht
- resultierende Cd-Gehalte von 2 – 5 µg/l (zum Vergleich: Sanierungszielwert 1 µg/l)
- Sedimentation der Fällprodukte im Flutungsraum

Überblick über die Eingriffsmöglichkeiten am RSS

	Maßnahme	Beschreibung	Wirkung	Machbarkeit	Genehmigungs-fähigkeit	Reduzierung Cd-Fracht RSS (%)	Reduzierung Cd-Fracht aus Freiburger Revier (%)
1	Aufstau Brander Teilrevier	Schließen Verspünden im König Johann Spat Steuerung des Abflusses	Minimierung O ₂ -Zutritt Minimierung Verwitterung	technisch machbar	Genehmigungsfähig, da identisch mit ehemaliger und künftig geplanter Nutzung Kavernenkraftwerk	20	11
2	In Situ Sanierung Grubenwasser Teilrevier Freiberg	Einbringen Alkalinität und Carbonat, untertägige Sedimentation	Untertägige Fällung der Schwermetalle, Sedimentation Wirkung bisher nur theoretisch ermittelt	technisch grundsätzlich machbar	fraglich, aber „Präzedenzfall“ Königstein als Vergleich	34	20
3	Untertage-Wasserbehandlung am Schacht Reiche Zeche (Wässer oberer Stollnsohlen)	Beschreibung in Abschnitt 13.2	Entfernen der Schwermetalle durch Fällung		nicht einschätzbar	<30	<20
4	Wasserbehandlung am Mundloch VGS unter Einbeziehung der zum RSS versinkenden Wässer und des EBS	Beschreibung in Abschnitt 13.1	Entfernen der Schwermetalle durch Fällung		grundsätzlich genehmigungsfähig	6	36
5	Sanierung Haldenkomplex Davidschacht mit Reduzierung Cd-Austrag um 80 %	Abdecken/Abdichten der Haldenplateaus Teilabdecken der Böschungen	Minimierung O ₂ - und Wasserzutritt und damit der Mobilisierungs- und Austragungsprozesse	technisch machbar, Plateau Grobbergehalde bereits erfolgt Spülhalde Hammerberg in Arbeit Spülhalde Davidschacht in Planung	genehmigungsfähig Nutzungskonflikt Natur- und Denkmalschutz	5	26

Variante 3: Umkehrosmose und Fällung

	Maßnahme	Beschreibung	Wirkung	Machbarkeit	Genehmigungs-fähigkeit	Reduzierung Cd-Fracht im RSS in Richtung Triebisch (%)	Reduzierung Cd-Fracht aus Freiberg Revier (%)
6	Wasserbehandlung am Mundloch RSS	Beschreibung in [59]	Entfernen der Schwermetalle durch Fällung	technisch machbar	grundsätzlich genehmigungsfähig	100	56
7	Fassen der aus dem Bereich Davidschacht zum RSS versinkenden Wasser und Ableiten im VGS	Einbau von Gerinnen im THS auf Caspar Stehendem, Ableiten über Glückauf Spat zum VGS	gesonderte Ableitung auf oberer Stollnsohle	technisch machbar	grundsätzlich genehmigungsfähig	6	0 (nur Verlagerung)
8	Fassen aller zum RSS versinkenden Wasser und Ableiten in VGS bzw. HSU	Einbau von Gerinnen auf allen wasserführenden Strecken auf der oberen Stollnsohle	gesonderte Ableitung auf oberer Stollnsohle	technisch wegen des diffusen Charakters der schwermetallführenden Grubenwasser <u>nicht machbar</u> , daher nur theoretische Möglichkeit	derzeit nicht absehbar	ca. 30	0 (nur Verlagerung)
9	Kombination der (realistischen) Szenarien 1 und 4					26	47
10	Kombination der (realistischen) Szenarien 1 und 4 unter Einbeziehung Szenario 2					60	67



**Danke für Ihre
Aufmerksamkeit!**