

**VERBESSERTE ANSÄTZE FÜR WASSER- UND STOFFSTROMMANAGEMENT  
IN INTENSIV GENUTZTEN KLEINEN EINZUGSGEBIETEN  
AUF DER GRUNDLAGE VON  
INTEGRIERTEN NUTZEN- UND RISIKOBEWERTUNGEN**

Juni 2002 – Oktober 2005



# Abschlussbericht

## Projektnehmer:



Sydro Consult Ingenieurgesellschaft für Systemhydrologie, Wasserwirtschaft und Informationssysteme GbR

Bearbeitung: Herr Dipl.-Math. A. Leichtfuß  
Herr Dr.-Ing. H. Lohr  
Herr Dipl.-Ing. D. Wölfel

## Projektpartner:



TU Darmstadt, Institut für Wasserbau und -wirtschaft,  
Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung

Bearbeitung: Herr Prof. Dr.-Ing. M. W. Ostrowski  
Herr Dipl.-Ing. K. Schröter



Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH, Berlin

Bearbeitung: Herr Dr.-Ing. H. Sieker  
Herr Dipl.-Geogr. S. Bandermann  
Frau Dipl.-Ing. U. Zweynert



Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Leipzig

Bearbeitung: Herr Dr. W. A. Schmidt  
Herr Dipl.-Geogr. E. Thiel



TU Berlin, Institut für Technischen Umweltschutz , FG Wasserreinhaltung

Bearbeitung: Herr Prof. Dr.-Ing. M. Jekel  
Herr Dipl.-Ing. C. Peters  
Herr Dipl.-Ing. R. Mühleck (†)

## Projektbeirat:

- Frau Prof. Dr. C. Pahl-Wostl,  
Universität Osnabrück, Institut für Umweltsystemforschung
- Herr Prof. Dr. B. Huwe,  
Universität Bayreuth, Fakultät 2 - Geowissenschaften
- Herr Dr.-Ing. R. Enders,  
Forschungszentrum Jülich, Projektträger Jülich (PTJ), Außenstelle Berlin
- Herr Dr. B. Klauer,  
Umweltforschungszentrum Leipzig, Sektion Ökonomie, Soziologie und Recht
- Frau Dipl.-Ing. C. Hornemann,  
Umweltbundesamt
  
- Herr Dipl.-Ing. M. Rehfeld-Klein,  
Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Abt. VIII E 2 -Integrativer Umweltschutz-
- Herr Dipl.-Biol. R. Sudbrack,  
Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, Referat 22 -Wassergüte
- Herr BD H. Migge,  
Regierungspräsidium Darmstadt, Dezernat IV 41.3 - Kommunales Abwasser, Schutz oberirdischer Gewässer, Gewässerbeschaffenheit

*"Alles ist aus dem Wasser entsprungen! Alles wird durch  
das Wasser erhalten!"* (Johann Wolfgang von Goethe)

# Vorwort

*"Ohne Wasser gibt es kein Leben, Wasser ist ein  
kostbares, für den Menschen unentbehrliches Gut."*  
(Wassercharta des Europarates von 1968)

Bestimmt könnte man in kürzester Zeit noch viele ähnlich lautende Zitate finden, welche die elementare Bedeutung von Wasser für den Menschen und die gesamte Natur zum Ausdruck bringen. Dieser Bedeutung wurde in der Vergangenheit nur selten in angemessener Weise Rechnung getragen.

Der Ruf nach einer „Nachhaltigen Entwicklung“, der aufgrund von erkannten Missständen infolge eines ungezügeltten Wachstums von Bevölkerung und wirtschaftlichen Aktivitäten in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts immer lauter wurde, bezog sich nicht zuletzt auf die dauerhafte Nutzung und Nutzbarkeit der Ressource „Wasser“.

In Europa haben die meisten Länder reagiert. Die Europäische Union hat in ihrer Wasserrahmenrichtlinie das Erreichen und den Erhalt des „guten Zustands“ der Gewässer im Gesetz festgeschrieben. Hierzu sind Bewirtschaftungspläne aufzustellen für teilweise sehr große Flussgebiete wie den Rhein oder die Elbe. Die „Kunst“ des Managements besteht nun darin, Strategien zu entwickeln und Entscheidungen zu treffen, so dass die Natur in einem guten Zustand bleibt und gleichzeitig Fortschritt und Wohlstand gewährleistet sind.

Der Löwenanteil der Arbeit zur Umsetzung der anspruchsvollen Ziele der Richtlinie wird mit Sicherheit auf der Ebene erheblich kleinerer Teileinzugsgebiete bis etwa 300 Quadratkilometer stattfinden. Eine „integrierte Wasserwirtschaft“ stellt Anforderungen an die Planung, die erheblich über die traditionelle Vorgehensweise hinausgehen.

Das Verbundprojekt mit fünf Kooperationspartnern hat unter dem Titel „Verbesserte Ansätze für Wasser- und Stoffstrommanagement...“ Methoden für die systematische Durchführung und Unterstützung der Entscheidungsfindung erarbeitet. Am Beispiel dreier unterschiedlicher Einzugsgebiete haben die beteiligten Experten Anforderungen und Probleme für eine einzugsgebietsbezogene Betrachtung systematisch beschrieben.

Eine der vordringlichsten Aufgaben ist es, sämtliche Akteure in den Entscheidungsprozess einzubinden. Der „Gewässerbeirat“, in dem sämtliche Vertreter und auch Betroffene der Wasserwirtschaft mitarbeiten (können) und über geeignete Strategien diskutieren, bildet in dieser Hinsicht das passende Forum.

Unterschiedliche Alternativen müssen effizient entwickelt, analysiert und in einem kritischen Umfeld verständlich präsentiert werden können. Hierfür und für die Kommunikation der komplexen Sachverhalte stellt der computergestützte „Decision Support“ die notwendige technische Unterstützung bereit.

Das Konzept kann auf alle beliebigen Wassereinzugsgebiete übertragen werden und ist eine praktische und effiziente Arbeitsgrundlage für die wasserwirtschaftliche Planung.

Dem kundigen Leser stellt sich angesichts zahlreicher ähnlich gearteter Projekte unwillkürlich die Frage:

## Was ist das Besondere an WSM300?

Der Schwerpunkt des Projektes wurde streng auf die allgemeine Verständlichkeit und den Praxisbezug von Methodik und technischer Unterstützung gelegt, denn schließlich sind im Gewässerbeirat Personen mit unterschiedlichen fachlichen Hintergründen vertreten. Diese Personen, sowie Entscheidungsträger der Wasserwirtschaft und planende Experten, die den Großteil der Untersuchungen im Hinblick auf geeignete Varianten durchführen, stellen auch die Zielgruppe für das Projekt dar.

Es wurde beschrieben, wie der gesamte Prozess der Entscheidungsfindung gestaltet und unterstützt werden kann und sollte, damit die Entwicklung von Strategien effektiv und effizient „über die Bühne“ geht. Notgedrungen bringt die Bandbreite der Untersuchungen und Entwicklungen mit sich, dass in den einzelnen Teilbereichen die „wissenschaftliche Tiefe“ nicht zu gewährleisten ist. Zudem würde eine allzu theoretische und ausführliche Darstellung den Anspruch auf Verständlichkeit im Hinblick auf die Zielgruppe höchstwahrscheinlich verfehlen.

Die „eigentliche“ Leistung besteht in der ganzheitlichen, praxisbezogenen Verknüpfung und Abstimmung existierender und bewährter Methoden und Werkzeuge in einem Gesamtkonzept für den Decision Support. In Kenntnis maßgeblicher Defizite zur Bestimmung entscheidungsrelevanter Informationen wurden selektiv exemplarische Entwicklungen von Softwarekomponenten getätigt.

Der enge Bezug zur Praxis war ein maßgeblicher Anlass für die **Deutschen Bundesstiftung Umwelt**, das Projekt WSM300 finanziell zu fördern. Hierfür möchten wir an dieser Stelle nochmals herzlich danken! Weiterhin gilt unser Dank dem **Projektbeirat** für die wissenschaftliche Begleitung als auch für die praktische Unterstützung insbesondere in den Fallstudien.

Das erste Kapitel **Einleitung** gibt einen kompakten Überblick über die Hintergründe, Zielsetzungen und Struktur des Projektes. Im zweiten Kapitel **Methodik zur Vorgehensweise bei der Entscheidungsfindung** werden die Organisation des einzugsgebietsbezogenen Managements und die im Projekt entwickelten Konzepte zur systematischen Vorgehensweise dargestellt. In Kapitel 3 **Decision Support: Konzept und Komponenten** werden die Werkzeuge beschrieben, die zur Beschaffung entscheidungsrelevanter Informationen notwendig sind und welche Schwerpunkte zur Weiterentwicklung im Projekt gelegt wurden. Die nachfolgenden drei Kapitel beinhalten die Erfahrungsberichte aus den **Fallstudien** der Einzugsgebiete Panke (Berlin), Saidenbach (Erzgebirge) und Modau (Südhessen). Der Abschluss des Berichts gibt eine kurze **Zusammenfassung** der Ergebnisse, Erkenntnisse und Entwicklungen und enthält einige Überlegungen zum Erfolg des Projektes.

Die Autoren

Darmstadt, den 30. Juni 2006

Wir gedenken unseres lieben Kollegen **Ralf Mühleck** von der Technischen Universität Berlin, der am 7. Mai 2005 verstorben ist.

Inhalt

<b>1. EINLEITUNG</b>	<b>18</b>
<b>1.1. Hintergrund – Nachhaltige Entwicklung</b>	<b>18</b>
1.1.1. Die EU-Wasserrahmenrichtlinie	20
1.1.2. „Integrierte“ Wasserwirtschaft	22
<b>1.2. Veranlassung und Zielsetzungen</b>	<b>24</b>
<b>1.3. Das Projekt im Überblick</b>	<b>28</b>
1.3.1. Weitere Informationen zu Verbreitung und Veröffentlichung	32
<b>2. METHODIK ZUR VORGEHENSWEISE BEI DER ENTSCHEIDUNGSFINDUNG</b>	<b>34</b>
<b>2.1. Einleitung – Vom Entscheiden</b>	<b>34</b>
<b>2.2. Organisation und Zuständigkeiten</b>	<b>38</b>
<b>2.3. Bestandsaufnahme</b>	<b>42</b>
<b>2.4. Prinzip „Entscheidungsmatrix“</b>	<b>44</b>
<b>2.5. Ziele festlegen</b>	<b>47</b>
2.5.1. Beispiel	51
<b>2.6. Maßnahmenvarianten formulieren</b>	<b>52</b>
2.6.1. Beispiel	54
<b>2.7. Fakten bestimmen</b>	<b>55</b>
2.7.1. Modelle und Simulation	55
2.7.2. Simulationsergebnisse auswerten - „Postprocessing“	62
2.7.3. Beispiel	63
<b>2.8. Vergleichende Bewertung</b>	<b>64</b>
2.8.1. Nutzwertanalyse	67
2.8.2. „Penalties“	69
2.8.3. PROMETHEE	70
2.8.4. Beispiel (Nutzwertanalyse)	73
<b>2.9. Zusammenfassung: Methodik</b>	<b>77</b>
<b>3. DECISION SUPPORT: KONZEPT UND KOMPONENTEN</b>	<b>79</b>
<b>3.1. Einleitung</b>	<b>79</b>
3.1.1. Spezifikation von Decision Support Systemen: „Angebot“ versus „Nachfrage“	80
<b>3.2. Das Decision-Support-Konzept für die Praxis</b>	<b>83</b>
3.2.1. Die wichtigste Voraussetzung: Daten!	86
3.2.2. Modularer Aufbau/Komponenten und Entwicklungsschwerpunkte im Projekt	86

3.2.3. Die DSC-Komponente „User“	90
<b>3.3. Entscheidungsmatrix aufstellen</b>	<b>91</b>
3.3.1. Maßnahmenkataloge	94
3.3.1.1 Bereich Landwirtschaft	95
3.3.1.2 Bereich Siedlungswasserwirtschaft	95
3.3.2. Zielvariablenkatalog	96
<b>3.4. Geografisches Informationssystem</b>	<b>99</b>
<b>3.5. Zeitreihenmanagement</b>	<b>100</b>
3.5.1. Zeitreihen	101
3.5.1.1 Einige Grundüberlegungen	101
3.5.1.2 Anforderungen der Praxis	103
3.5.2. Die Software WELLE	104
3.5.2.1 Bestand verwalten	105
3.5.2.2 Datenaustausch	106
3.5.2.3 Visualisieren und bearbeiten	108
3.5.2.4 Operationen auf Zeitreihen	109
3.5.2.5 Auswertung – Ermittlung von Zielvariablen	113
3.5.2.6 Zusammenspiel mit Simulationsmodellen	115
3.5.2.7 Geografischer Bezug von Zeitreihen	117
3.5.2.8 Zusammenfassung und Ausblick	118
<b>3.6. Computermodelle</b>	<b>119</b>
<b>3.7. Bewertung - Nutzwertanalyse</b>	<b>120</b>
3.7.1. Definition von Nutzenfunktionen und Gewichten	124
3.7.1.1 Messen und Maßskalen	124
3.7.1.2 Einige Bemerkungen zum Schluss	125
<b>3.8. Zusammenfassung: Decision Support</b>	<b>128</b>
<b>4. FALLSTUDIE PANKE</b>	<b>130</b>
<b>4.1. Das Einzugsgebiet</b>	<b>130</b>
<b>4.2. Defizite der Panke</b>	<b>132</b>
<b>4.3. Zielvariablen für die Panke</b>	<b>133</b>
<b>4.4. Die Panke im Modell</b>	<b>136</b>
4.4.1. Niederschlag-Abfluss-Modell	136
4.4.1.1 Regen- und Mischentwässerung	136
4.4.1.2 Zusammenhang zwischen Panke Einzugsgebiet und dem Einzugsgebiet der Kläranlage	140
4.4.1.3 Schmutzwasserkanal der Trenngebiete	142
4.4.2. Druckrohrleitungsnetz und Pumpwerke	144
4.4.3. Kläranlagenmodell	150
4.4.4. ATV Gewässergütemodell	153
<b>4.5. Szenarien</b>	<b>155</b>
4.5.1. Szenarienauswahl	155
4.5.2. Standortwahl für Szenarienvergleich	157
4.5.3. Ergebnisse Szenarien	157

<b>4.6. Öffentlichkeitsarbeit</b>	<b>161</b>
4.6.1. Tag der Panke	161
4.6.2. Das Panke-Informationssystem PankIS	162
4.6.3. Erweiterungsmöglichkeiten	166
4.6.4. Literatur	167
<b>5. FALLSTUDIE SAIDENBACH</b>	<b>169</b>
<b>5.1. Einleitung</b>	<b>169</b>
<b>5.2. Einbindung der Akteure und Öffentlichkeitsbeteiligung</b>	<b>169</b>
<b>5.3. Gebietsbeschreibung</b>	<b>171</b>
<b>5.4. Defizite</b>	<b>172</b>
<b>5.5. Eingesetzte Modelle und Schätzverfahren</b>	<b>173</b>
5.5.1. Abschätzung der Bodenerosion durch Wasser	173
5.5.1.1 Berechnung der potenziellen Erosionsgefährdung nach bodenkundlichen Bedingungen – „Eb“ (Bodenspezifische Erosionsgefährdung)	174
5.5.1.2 Berechnung der potenziellen Erosionsgefährdung nach bodenkundlichen, morphologischen und klimatischen Bedingungen - „EfW“	175
5.5.1.3 Simulation der Bodenerosion durch Wasser mit dem Erosionssimulationsprogramm EROSION 3D	178
5.5.1.4 Abschätzung des Einflusses von Grünstreifen auf die Bodenerosion durch Wasser	183
5.5.2. Abschätzung der Phosphoreinträge	186
5.5.3. Abschätzung der Stickstoffeinträge	189
5.5.3.1 Abschätzung der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser und Berechnung des Sickerwasseranfalls	190
5.5.3.2 Modellierung mit dem Stoffhaushaltsmodell SWAT im Teileinzugsgebiet Hölzelbergbach	194
<b>5.6. Maßnahmenkatalog</b>	<b>194</b>
<b>5.7. Internetgestütztes Informationsportal (Web-GIS)</b>	<b>197</b>
<b>5.8. Bewertungsmatrix</b>	<b>201</b>
<b>5.9. Verbreitung und Materialien</b>	<b>204</b>
5.9.1. Durchgeführte Veranstaltungen und Vorträge	204
5.9.1.1 Veranstaltungen mit der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU)	204
5.9.1.2 Veranstaltungen für die Entscheider im Einzugsgebiet der Talsperre Saidenbach	204
5.9.1.3 Veranstaltungen innerhalb der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)	205
5.9.1.4 Externe Veranstaltungen	205
5.9.2. Veröffentlichungen	205
5.9.3. Betreute Qualifizierungsarbeiten	206
<b>5.10. Schlussfolgerungen</b>	<b>207</b>
<b>5.11. Literatur</b>	<b>208</b>
<b>6. FALLSTUDIE MODAU</b>	<b>211</b>
<b>6.1. Öffentlichkeitsbeteiligung</b>	<b>212</b>

6.2. Gebietsbeschreibung	214
6.3. Defizite	216
6.4. Bewirtschaftungsziele	220
6.5. Maßnahmen	220
6.6. Wirkungsanalyse	221
6.7. Modellsystem	223
6.8. Bewertung	226
6.9. Ergebnis der Maßnahmenuntersuchung und Bewertung	227
6.10. Kostenwirksamkeit	229
6.11. Empfehlungspapier des Gewässerbeirats	230
6.12. Quellen	232
<b>7. SCHLUSS</b>	<b>234</b>
7.1. Zusammenfassung	234
7.2. Der „Erfolg“ des Projektes	238
<b>8. QUELLEN</b>	<b>240</b>
8.1. Internet	247

## ANLAGEN

- Katalog der Zielvariablen
- Abschlussbericht der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft zum WSM300-Teilprojekt  
„Fallstudie Trinkwassertalsperre Saidenbach (Erzgebirge)“
- 6-seitiges Faltblatt (DIN A4)
- KA-Artikel (Kopie)

## Abbildungen

Abbildung 1: Zeitrahmen für die WRRL	20
Abbildung 2: Vom strategischen Leitbild zur Umsetzung	24
Abbildung 3: „Hauptkategorien“ des Projektes WSM300	29
Abbildung 4: Projektkategorien und Kooperationspartner	30
Abbildung 5: Entscheidungsmodell für die Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung	36
Abbildung 6: Schritte im Entscheidungsprozess	37
Abbildung 7: „Runder Tisch“ des Gewässerbeirats	40
Abbildung 8: Gewässerbeirat (erweitert um fachlich-technische Unterstützung)	41
Abbildung 9: Entscheidungsmatrix für Digitalkameras	44
Abbildung 10: Entscheidungsmatrix für Sommerreifen	45
Abbildung 11: Entscheidungsmatrix (Prinzip)	46
Abbildung 12: Von Zielen zu Zielvariablen	49
Abbildung 13: Komplexe Zielvariable „9er-Matrix“	50
Abbildung 14: Verschachtelung von Modellen (Nesting)	61
Abbildung 15: Modell und Post-Processing	62
Abbildung 16: Entscheidungsmatrix mit Bewertung (Prinzip)	64
Abbildung 17: Nutzenfunktion (Beispiel 1)	67
Abbildung 18: Nutzenfunktion (Beispiel 2)	67
Abbildung 19: Nutzenfunktion (Beispiel 3)	68
Abbildung 20: Penaltyfunktion (Beispiel 1)	69
Abbildung 21: Penaltyfunktion (Beispiel 2)	69
Abbildung 22: Penaltyfunktionen (Beispiel 3)	70
Abbildung 23: Beispiele für Präferenzfunktionen	70
Abbildung 24: PROMETHEE- Prinzip des Präferenzindex	71
Abbildung 25: PROMETHEE- Muster einer partiellen Präordnung	71
Abbildung 26: Beispiel – Nutzenfunktion und Nutzwerte für die Zielvariable HQ25	73
Abbildung 27: Beispiel – Nutzenfunktion und Nutzwerte für die Zielvariable PKB	74
Abbildung 28: Beispiel - Gewichtung 1	75
Abbildung 29: Beispiel - Gewichtung 2	76
Abbildung 30: DSS-Aufbau (1)	81

Abbildung 31: DSS-Aufbau (2)	84
Abbildung 32: DSSF-Komponente Entscheidungsmatrix	87
Abbildung 33: DSSF-Komponente GIS	87
Abbildung 34: DSSF-Komponente Zeitreihenmanagement	87
Abbildung 35: DSSF-Komponente Statistik	88
Abbildung 36: DSSF-Komponente Modelle	88
Abbildung 37: DSSF-Komponente Bewertung	89
Abbildung 38: DSSF-Komponenten	89
Abbildung 39: DSC-Komponente „User“	90
Abbildung 40: DSSF-Anwendung „Entscheidungsmatrix aufstellen – webbasiert“	91
Abbildung 41: DSSF-Anwendung „Entscheidungsmatrix aufstellen“ – Zugriff auf den Zielvariablenkatalog	92
Abbildung 42: DSSF-Anwendung „Entscheidungsmatrix aufstellen“ – Maßnahmenvariante	93
Abbildung 43: DSSF-Kombination: <i>Entscheidungsmatrix</i> zu <i>Bewertung</i>	94
Abbildung 44: Maßnahmendatenbank und -anwendung „Gewässer- und Bodenschutz“	95
Abbildung 45: Beispielseite aus dem Maßnahmenkatalog „Siedlungswasserwirtschaft“	95
Abbildung 46: Auszug aus der Struktur des Maßnahmenkatalogs „Siedlungswasserwirtschaft“	96
Abbildung 47: Zielvariablenkatalog – Überblick“	97
Abbildung 48: Zuordnung der Zielvariablen zu den Qualitätskomponenten der WRRL für den ökologischen Zustand von Fließgewässern	98
Abbildung 49: Zeitreihe	102
Abbildung 50: WELLE-Datenhaltung	105
Abbildung 51: WELLE-Explorer	105
Abbildung 52: WELLE-Dialog mit Zeitreihenformaten	106
Abbildung 53: WELLE-Externe Zeitreihe(n) öffnen	107
Abbildung 54: WELLE-Ganglinienfenster mit Niederschlags- und Abflusszeitreihe	108
Abbildung 55: WELLE-Ganglinienfenster mit Punktdarstellung im Bearbeitungsmodus	109
Abbildung 56: WELLE-Zeitreihen ableiten (rekursiv)	110
Abbildung 57: WELLE-Ganglinienfenster mit Niederschlagszeitreihe und zugehöriger Summenlinie	112
Abbildung 58: WELLE-Statistikfenster mit Unterauswahl „Dauerlinien“	113
Abbildung 59: WELLE-Statistikfenster mit Unterauswahl „Regression“	114
Abbildung 60: WELLE-Textformat für Simulationsergebnisse	115
Abbildung 61: WELLE-Explorer mit Simulationsergebnissen	116

Abbildung 62: Screenshot Temporal Analyst von DHI	117
Abbildung 63: WELLE-Explorer mit Kartendarstellung	118
Abbildung 64: Excel-Bewertungstool	120
Abbildung 65: Excel-Bewertungstool – Eingangsparameter	120
Abbildung 66: Excel-Bewertungstool – Nutzenfunktionen und Teilnutzwerte	121
Abbildung 67: Excel-Bewertungstool – Ergebnis	122
Abbildung 68: Excel-Bewertungstool – Ergebnisgrafik	122
Abbildung 69: Excel-Bewertungstool – Sensitivitätsanalyse	123
Abbildung 70: Excel-Bewertungstool – Nutzenfunktionen und Gewichte bearbeiten	125
Abbildung 71: Öffentlichkeit – Saldenbach WebGIS	126
Abbildung 72: Öffentlichkeit – Modau im Internet	127
Abbildung 73: Teileinzugsgebiete der Panke und Lage der Panke im Großraum Berlin	130
Abbildung 74: Die Panke heute und damals	131
Abbildung 75: Die Panke im Modell STORM	137
Abbildung 76: Pegelstellen entlang der Panke	137
Abbildung 77: Ergebnisse der Kalibrierung für die Mischwasserteilgebiete (Entlastungsmengen MR60 n=1. Gesamtniederschlag 16,3 mm)	138
Abbildung 78: Hochwasserstatistik Ist-Zustand (31 Jahre RS Wedding)	139
Abbildung 79: Einzugsgebiete der KA Schönerlinde	141
Abbildung 80: Schematische Aufteilung des Abwasserstroms	142
Abbildung 81: Vergleich der Pumpwerksfördermengen mit den Ergebnissen der Kalibrierung des STORM Modells (exemplarisch für das Pumpwerk Rosenthal und das Jahr 2001)	143
Abbildung 82: Zu- und Ablauf des Druckrohrleitungsbausteins (Beispiel)	145
Abbildung 83: Druckrohrleitungsnetz im Modell	146
Abbildung 84: Vergleich des Ablaufs des ADL-Modells mit Zulaufmesswerten der Kläranlage vom 01.03.2003 bis 30.06.2003	147
Abbildung 85: Vergleich des Ablaufs des ADL-Modells mit Zulaufmesswerten der Kläranlage 2h-Mittelwerte 05. und 06.06.2003	148
Abbildung 86: Vergleich des Ablaufs des ADL-Modells mit Zulaufmesswerten der Kläranlage 2h-Mittelwerte 29. und 30.08.2003	149
Abbildung 87: Kläranlage im Modell	150
Abbildung 88: Ergebnis der Kalibrierung der Kläranlage für Ammonium	152
Abbildung 89: Eingebaute Querprofile im ATV-Gütemodell für den Berliner Teil des Panke Einzugsgebietes	154

Abbildung 90: Programm zum zweiten Tag der Panke	161
Abbildung 91: Das Panke-Informationssystem PankIS im Internet	162
Abbildung 92: Die PANKIS Homepage	163
Abbildung 93: PANKIS-Webmap	164
Abbildung 94: Lage des Untersuchungsgebietes im Einzugsgebiet der Freiburger Mulde in Sachsen	171
Abbildung 95: Potenzielle Erosionsgefährdung (Eb) im Einzugsgebiet der Talsperre Saidenbach	175
Abbildung 96: Thiessen-Polygone zur Berechnung des R-Faktor	176
Abbildung 97: Potenzielle Erosionsgefährdung (EfW) im Einzugsgebiet der TS Saidenbach (Annahmen: Schwarzbrache, keine Erosionsschutzmaßnahmen)	177
Abbildung 98: Worstcase“-Szenario für ein 20jährliches Extremniederschlagsereignis für das Einzugsgebiet der Talsperre Saidenbach (Simulation mit EROSION 3D)	180
Abbildung 99: „Bestcase“-Szenario für ein 20jährliches Extremniederschlagsereignis für das Einzugsgebiet der Talsperre Saidenbach (Simulation mit EROSION 3D)	180
Abbildung 100: Prozentuale Verteilung der Rasterzellen (10*10m) der verschiedenen Erosions - sowie Depositionsklassen bei EROSION 3D-Simulation eines „worstcase“-Szenarios im Teileinzugsgebiet „Kunstteich“ bei Annahme einer flächendeckend konventionellen Bodenbearbeitung (20jähriger Niederschlag)	181
Abbildung 101: Prozentuale Verteilung der Rasterzellen (10*10m) der verschiedenen Erosions - sowie Depositionsklassen bei EROSION 3D-Simulation eines „bestcase“-Szenarios im Teileinzugsgebiet „Kunstteich“ bei Annahme einer flächendeckend konservierenden Bodenbearbeitung (20jähriger Niederschlag)	181
Abbildung 102: Simulation eines worstcase-Szenarios mit EROSION 3D im Teileinzugsgebiet „Kunstteich“ bei Annahme einer flächendeckend konventionellen Bodenbearbeitung (20jähriger Niederschlag; Bereich linienhafter Erosion siehe gestrichelte Umrandung)	182
Abbildung 103: Bodenerosion durch Wasser ohne (linkes Bild) und mit Anlage eines Grünstreifen (rechtes Bild) im Teileinzugsgebiet „Kunstteich“ (Modellierung mit EROSION 3D)	183
Abbildung 104: Modellierte Sedimentfracht für ein 20-jährliches Extremniederschlagsereignis für unterschiedliche Szenarien in den Teileinzugsgebieten der Talsperre Saidenbach	184
Abbildung 105: Modellierte Sedimentfracht für ein 20-jährliches Extremniederschlagsereignis für unterschiedliche Szenarien in den Teileinzugsgebieten der Talsperre Saidenbach. Detaildarstellung für konservierende Bodenbearbeitung mit ergänzenden Schutzmaßnahmen (grassed waterways, Grünstreifen usw., Gesamtdarstellung der Szenarien s. Abbildung 104)	185
Abbildung 106: Häufigkeitsverteilung nach Nährstoffversorgungsstufen der ermittelten CAL-P-Gehalte der Dauertestflächen der LfL im Einzugsgebiet Talsperre Saidenbach	187
Abbildung 107: Errechnete Sickerwassermenge nach KARL (1997) im Einzugsgebiet der Talsperre Saidenbach	191

Abbildung 108: Errechneter Austauschfaktor für das Bodenwasser nach FREDE & DABBERT (1998) für das Einzugsgebiet Talsperre Saidenbach	192
Abbildung 109: Errechnete potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser nach FREDE & DABBERT (1998)	193
Abbildung 110: Startmaske der Maßnahmendatenbank „Gewässer- und Bodenschutz“	195
Abbildung 111: Suchmaske der Maßnahmendatenbank „Gewässer- und Bodenschutz“	196
Abbildung 112: Beispiel für einen Ergebnisbericht (Maßnahme Direktsaat) aus der Maßnahmendatenbank „Gewässer- und Bodenschutz“	196
Abbildung 113: Gemeinsamer Maßnahmenkatalog (Landwirtschaft, Siedlungswasserwirtschaft) in der Online-Version	197
Abbildung 114: Version des HTML-Viewers in der Fallstudie Talsperre Saidenbach	199
Abbildung 115: Beispielhafte Darstellung der Modellierungsergebnisse im Web-GIS	199
Abbildung 116: Einlesen der in Tabelle 6 erstellten Entscheidungsmatrix in die Nutzwertanalyse	202
Abbildung 117: Definition der Nutzenfunktionen für die verwendete Entscheidungsmatrix	203
Abbildung 118: Die Nutzwerte der einzelnen Szenarien	203
Abbildung 119: Arbeitsablauf Fallstudie Modau	211
Abbildung 120: Nutzungen im Modaugebiet	215
Abbildung 121: Siedlungsentwässerung Modaugebiet	215
Abbildung 122: Prozentuale Anteile der Eintragspfade von Phosphor und Stickstoff	217
Abbildung 123: Nährstoffkonzentrationen Messstelle Stockstadt	217
Abbildung 124: Sauerstoff- und Ammoniumkonzentration Messstelle Stockstadt	218
Abbildung 125: Hochwasserabflussspenden Modaugebiet	219
Abbildung 126: Systemgrenzen Modellsystem	224
Abbildung 127: Modellsystem	224
Abbildung 128: Nutzwertanalyse Siedlungsentwässerungsmaßnahmen Eberstadt	228

## Tabellen

Tabelle 1: Schritte im Planungsprozess	46
Tabelle 2: Zielvariablen im Beispiel	52
Tabelle 3: Beispielmatrix nach „Ziele festlegen“	52
Tabelle 4: Beispiel: Maßnahmenvarianten	54
Tabelle 5: Beispielmatrix nach „Maßnahmenvarianten formulieren“	54
Tabelle 6: Entscheidungsmatrix Beispiel nach „Fakten bestimmen“	63
Tabelle 7: Entscheidungsmatrix Beispiel mit Fakten (Teilnutzwerten)	75
Tabelle 8: Zentrale Zeitreihenattribute	102
Tabelle 9: WELLE – Ableitungsregeln (einfach)	110
Tabelle 10: WELLE – Ableitungsregeln (zusammengesetzt)	111
Tabelle 11: Excel-Bewertungstool – Variation der Gewichtung einer Zielvariablen	123
Tabelle 12: Zielvariablen für die Panke	133
Tabelle 13: Stoffliche Belastung in Abhängigkeit der Herkunft in mg/l	138
Tabelle 14: Einwohnerspezifische Schmutzfrachten und Stoffkonzentrationen	144
Tabelle 15: Vergleich der Ablaufmesswerte mit Modellergebnissen (Jahresmittel)	153
Tabelle 16: Szenarien für die Panke	155
Tabelle 17: Ergebnis betrachteter Szenarien für den Standort Röntgental	158
Tabelle 18: Ergebnisse der Modellierung für den Standort Kühnemannstraße	158
Tabelle 19: Ergebnistabelle Szenarien Pankemündung	159
Tabelle 20: Ergebnistabelle Szenarien Kläranlage	159
Tabelle 21: Funktionalitäten des PankIS	165
Tabelle 22: Zugriffsberechtigungen für das PankIS tabellarisch zusammen gefasst	166
Tabelle 23: Entscheidungsträger in der Fallstudie Talsperre Saidenbach	170
Tabelle 24: Errechnete R-Faktoren (Formel 2) für die verwendeten Thiessen-Polygone	176
Tabelle 25: Kennwertklassifizierung der potenziellen Erosionsgefährdung E <sub>FW</sub> (Annahmen: Schwarzbrache, keine Erosionsschutzmaßnahmen) nach BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE, 2000	177
Tabelle 26: Simulationsergebnisse des partikulären P-Eintrags (P <sub>CAL</sub> ) für ein typisches Referenzjahr in den Teileinzugsgebieten der Talsperre Saidenbach (flächendeckend konventionelle Bodenbearbeitung)	188

---

Tabelle 27: Simulationsergebnisse des partikulären P-Eintrags ( $P_{CAL}$ ) für ein typisches Referenzjahr in den Teileinzugsgebieten der Talsperre Saidenbach (flächendeckend konservierende Bodenbearbeitung)	188
Tabelle 28: Beispielhafte Entscheidungsmatrix mit ermittelten Werten für ein 10-jährliches Extremniederschlagsereignis im Teileinzugsgebiet Vorsperre Saidenbach (Abkürzungen s. Tabelle 29)	201
Tabelle 29: In der Entscheidungsmatrix (Tabelle 28) verwendete Abkürzungen	201
Tabelle 30: Mitglieder Gewässerbeirat Modau	213
Tabelle 31: Bewirtschaftungsziele und Zielvariablen Modaugebiet	220
Tabelle 32: Übersicht untersuchte Maßnahmen	221
Tabelle 33: Entscheidungsmatrix Modau	222
Tabelle 34: Nutzenfunktionen Zielvariablen	226
Tabelle 35: Ergebnisse Zielvariablen Siedlungsentwässerungsmaßnahmen Eberstadt	228
Tabelle 36: Kostenrichtwerte für untersuchte Maßnahmen	229
Tabelle 37: Kostenwirksamkeit untersuchter Maßnahmen Eberstadt	230
Tabelle 38: Empfehlungen des Gewässerbeirats	230

## Abkürzungen

<b>Abk.</b>	<b>Bedeutung</b>
AHP	Analytic Hierarchy Process
ASM	Active Sludge Model
BASINS	Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources
BI	Business Intelligence
BPM	Business-Performance-Management
DSC	Decision Support Concept
DSC-IWRM	Decision Support Concept for Integrated Water Resources Management
DSS	Decision Support System
DSSF	Decision Support Software Framework
DWA	Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
EAI	Enterprise Application Integration
EPA	U.S. Environmental Protections Agency
GIS	Geografisches Informationssystem
IS	Informationssystem
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
MADM, MCDM, MODM	Multiple Attribute (Criteria, Objective) Decision Making
NWA	Nutzwertanalyse
OGC	Open Geospatial Consortium
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations
UBA	Umweltbundesamt
UIS	Umweltinformationssystem
WMS	Web Map Services
WRRL	EU-Wasserrahmenrichtlinie

Quellenangaben für Literaturverweise sind in eckigen Klammern [...], für Internetquellen in geschweiften Klammern {...} aufgeführt.

# 1. Einleitung

## 1.1. Hintergrund – Nachhaltige Entwicklung

Der Begriff der *Nachhaltigkeit* stammt ursprünglich aus der Forstwirtschaft und wurde erstmals um ca. 1700 vom Oberberghauptmann *Hans Carl von Carlowitz* in der Silberstadt Freiberg (Sachsen) "erfunden". Der neue Begriff war „ein Kind der Krise“ im Silberbergbau: nicht etwa die Erschöpfung der Silberlagerstätten sondern die sich schnell verschärfende Holzknappheit veranlasste den adeligen Forstmann zur Erarbeitung eines Nachhaltigkeitskonzepts zur dauerhaften Bereitstellung ausreichender Holz mengen. Nachhaltigkeit in der Forstwirtschaft bezeichnet eine Art und Weise der Holzwirtschaft, bei der der Waldbestand als natürliche Ressource für die Holzwirtschaft auf Dauer gesichert bleibt. So wird z.B. immer nur soviel Holz geschlagen, wie durch Wiederaufforstung nachwachsen kann [Grober 1999].

Mehr als 250 Jahre später wurde durch den *Club of Rome* im gleichnamigen Buch von 1972 auf *Die Grenzen des Wachstums* hingewiesen [CoR1973] und vergleichbare Phänomene des Mangels und Krisensituationen in weitaus größerem Maßstab prophezeit. Der Nachschub an Rohstoffen für die Produktion war nicht unbegrenzt, die Verschmutzung der Umwelt minderte die Vorzüge des höheren materiellen Lebensstandards und nahm nicht selten bedrohliche Formen an. Die Behebung von Umweltschäden seinerseits wurde zu einer erheblichen Belastung für die Volkswirtschaft.

Als die Vereinten Nationen 1983 die *Weltkommission für Umwelt und Entwicklung* gründeten, war deutlich geworden, dass die Erhaltung der Umwelt nicht nur aus wirtschaftlichen Überlegungen erforderlich ist, sondern eine Überlebensfrage für alle Menschen ist. Die von *Gro Harlem Brundtland* (damalige norwegische Ministerpräsidentin) geleitete Kommission betonte, dass Umweltschutz und Wirtschaftswachstum gemeinsam angegangen werden müssen, um

"heutige Bedürfnisse zu befriedigen, ohne die Überlebensfähigkeit zukünftiger Generationen einzuschränken".

Aufgrund ihres Berichts *Our Common Future* von 1987 [Brundt1987] berief die Generalversammlung der Vereinten Nationen im Juni 1992 in Rio de Janeiro die *UNO-Konferenz über Umwelt und Entwicklung* (UNCED) ein, bekannt als der „Earth Summit“. Die *Rio Declaration on Environment and Development* markierte den Wendepunkt in den internationalen Verhandlungen über Fragen von Umwelt und Entwicklung. In der *Agenda 21* wurde das entwicklungs- und umweltpolitische Aktionsprogramm für das 21. Jahrhundert beschlossen {Agenda21}. Sie beinhaltet als wichtigen Kernaspekt einen nachhaltigen d.h. zukunftsfähigen Umgang mit den Ressourcen, wobei allerdings der Begriff der "Ressourcen" eine dramatische Ausweitung erfahren hat: er umfasst nicht nur die Bodenschätze und nachwachsenden Rohstoffe sondern schließt die vielfältig vernetzten lokalen, regionalen und globalen Ökosysteme und letztendlich die gesamte Erde mit ihrer Erdatmosphäre ein.

## Was macht „nachhaltige Entwicklung“ aus?

Für ein Leben und Wirtschaften im Rahmen der Tragfähigkeit des Naturhaushalts müssen - in Anlehnung an die Empfehlungen der *Enquete-Kommission des 13. Deutschen Bundestages* "Schutz des Menschen und der Umwelt" von 1998 - vier grundlegende Regeln beachtet werden [EK1998]:

- Die Nutzung einer Ressource darf auf Dauer nicht größer sein als ihre Regenerationsrate oder die Rate der Substitution aller ihrer Funktionen.
- Die Freisetzung von Stoffen darf auf Dauer nicht größer sein als die Tragfähigkeit der Umweltmedien oder als deren Assimilationsfähigkeit.
- Gefahren und unvermeidbare Risiken für den Menschen und die Umwelt durch anthropogene Einwirkungen sind zu vermeiden.
- Das Zeitmaß anthropogener Eingriffe in die Umwelt muss in einem ausgewogenen Verhältnis zu der Zeit stehen, die die Umwelt zur selbst stabilisierenden Reaktion benötigt.

## Was bedeutet nachhaltige Entwicklung für die politische Praxis?

Wohlstand und Lebensqualität für heutige und künftige Generationen zu sichern sind zentrale Aufgaben der Politik. Mit der *Agenda 21* erklärte sich jeder der über 170 Unterzeichnerstaaten - auch Deutschland - bereit, das Leitbild national in allen Politikbereichen unter Beteiligung von Gesellschaft und Wirtschaft umzusetzen. Der Übergang zu einer dauerhaft umweltgerechten Entwicklung hängt wesentlich davon ab, ob es gelingt, umwelt-, wirtschafts- und sozialpolitische Ziele erfolgreich zu verknüpfen. Hierzu hat die rot-grüne Bundesregierung in 2002 eine *Nationale Nachhaltigkeitsstrategie* vorgelegt. Der *Rat für nachhaltige Entwicklung* (NachhaltRat) berät die Bundesregierung bei der Erarbeitung und Umsetzung dieser Strategie und fördert den gesellschaftlichen Dialog über diese Thematik ebenso wie das aktive Engagement der gesellschaftlichen Gruppen.

Anreize für eine nachhaltige Entwicklung können mit Hilfe verschiedener Instrumententypen geschaffen werden:

- ordnungsrechtliche Instrumente (z.B. Genehmigungspflichten, Grenzwerte und die Umweltverträglichkeitsprüfung),
- planungsrechtliche Instrumente (z.B. Bauleitplanung und die Umweltprüfung für Pläne und Programme),
- ökonomische Instrumente (z.B. Umweltabgaben, Quotenregelungen, umweltbezogene Steuern und handelbare Umweltlizenzen) und
- sonstige Instrumente zur Stärkung der Eigenverantwortung (z.B. Selbstverpflichtungen, Instrumente der integrierten Produktpolitik, Bildung für eine nachhaltige Entwicklung).

Die Bundesregierung unter Bundeskanzlerin Angela Merkel hat im Koalitionsvertrag vom November 2005 festgeschrieben, die *Nationale Nachhaltigkeitsstrategie* aufzugreifen und weiterzuentwickeln. Die Förderung einer nachhaltigen Entwicklung ist Ziel und Maßstab des Regierungshandelns auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene. Bewährte Einrichtungen wie der im Bundeskanzleramt verankerte *Staatssekretärsausschuss für Nachhaltige Entwicklung*, der *Rat für Nachhaltige Entwicklung* sowie der *Parlamentarische Beirat* werden weitergeführt.

Zur Jahrtausendwende hat die *Europäische Union* eine Richtlinie verabschiedet, in der die Leitlinien für eine nachhaltige Entwicklung im Hinblick auf die Bewirtschaftung der essentiellen Ressource *Wasser* festgelegt sind.

### 1.1.1. Die EU-Wasserrahmenrichtlinie

Die im Dezember 2000 in Kraft getretene *Wasserrahmenrichtlinie* (WRRL, siehe z.B. {EUWRRL}) sieht für die EU-Mitgliedsstaaten eine auch nationale Grenzen überschreitende Koordinierung für gesamte *Flussgebietseinheiten* vor, das laut Definition ein Gebiet ist

„aus welchem über Ströme, Flüsse und möglicherweise Seen der gesamte Oberflächenabfluss an einer einzigen Flussmündung ... ins Meer gelangt“.

In der Europäischen Union gibt es 123 dieser Flussgebietseinheiten, 34 davon sind staatenübergreifend und haben internationalen Charakter.

Ziel der Wasserrahmenrichtlinie ist es, für die Gewässer in Europa einen „guten Zustand“ zu erreichen und zu bewahren.

#### Was ist ein „guter Gewässerzustand“?

Während lange Zeit der Gewässerschutz den Schwerpunkt auf die gute chemische Wasserqualität setzte, rückt die WRRL nun insbesondere ökologische Fragen in den Vordergrund und fordert eine umfassendere Bewertung auf Basis der Kriterien

- Biologischer Zustand und chemisch-physikalische Gewässerqualität,
- Gewässermorphologie,
- Gewässerhydrologie und –hydraulik.

Der ökologische Zustand eines Gewässers wird anhand eines fünfstufigen Klassifikationssystems beurteilt, das von „sehr gut“ bis „schlecht“ reicht. Neu dabei ist, dass die Bewertung verschiedene Gewässertypen unterscheidet. Als Vergleichsmaßstab für die Beurteilung dient der (per se gute, weil naturnahe) Zustand eines weitgehend vom Menschen unbelasteten Gewässers desselben Typs. Für Grundwasser wird ein guter chemischer und guter mengenmäßiger Zustand gefordert.

#### Wie gestaltet sich der Ablauf zur Umsetzung der Richtlinie?

Die Umsetzung der Richtlinie gliedert sich in einen mehrstufigen Prozess, der

- 1) die Bestandsaufnahme,
- 2) die Überprüfung deren Ergebnisse durch Messungen,
- 3) die Einstufung der Gewässer in Zustandsklassen



Abbildung 1: Zeitrahmen für die WRRL

und

- 4) das Ergreifen von Maßnahmen, um Belastungen der Gewässer zu minimieren und den guten Zustand zu erreichen.

umfasst (Abbildung 1).

Das Hauptinstrument der WRRL stellt der in Artikel 13 geforderte *Bewirtschaftungsplan* (je Flussgebiet) dar. Er umfasst u.a. die Ergebnisse der Bestandsaufnahme der Oberflächengewässer und des Grundwassers sowie die Maßnahmen- und Monitoringprogramme. Darüber hinaus ist der Bewirtschaftungsplan das Instrument der Kontrolle und der Berichterstattung zu einer Reihe von Einzelregelungen (z.B. kostendeckende Wasserpreise).

Ein besonderer Stellenwert kommt dem *Maßnahmenprogramm* zu, auf das Artikel 11 Bezug nimmt:

(1) Jeder Mitgliedstaat sorgt dafür, dass für jede Flussgebietseinheit oder für den in sein Hoheitsgebiet fallenden Teil einer internationalen Flussgebietseinheit unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Analysen gemäß Artikel 5 ein Maßnahmenprogramm festgelegt wird, um die Ziele gemäß Artikel 4 zu verwirklichen....

Auf der Grundlage der zuvor erstellten Beschreibungen, Bewertungen der Gewässer und der konkretisierten Zielsetzungen werden dort die zur Zielerreichung notwendig werdenden Maßnahmen festgelegt. Das Maßnahmenprogramm umfasst im Wesentlichen alle Maßnahmen, die zur Erfüllung bestehender Richtlinien (Seveso-, FFH-, Badegewässer-, Fischgewässer-, Kommunalabwasser-, Nitrat-, IVU-, Vogelschutz-, Trinkwasser-, Pflanzenschutzmittel-, Klärschlammrichtlinie) notwendig sind, sowie darüber hinaus notwendige Maßnahmen zur Zielerreichung des "guten Zustands" in allen Gewässern. Das Maßnahmenprogramm ist bis Ende 2009 festzulegen und innerhalb von 3 Jahren vollständig umzusetzen. Danach erfolgt eine erneute Bestandsaufnahme, um das Erreichen der festgelegten Ziele zu überprüfen.

In Anhang III wird explizit die Forderung nach der „wirtschaftlichen Analyse“ gestellt, die

(unter Berücksichtigung der Kosten für die Erhebung der betreffenden Daten) genügend Informationen in ausreichender Detailliertheit enthalten muss, damit ...die in Bezug auf die Wassernutzung kosteneffizientesten Kombinationen der in das Maßnahmenprogramm nach Artikel 11 aufzunehmenden Maßnahmen auf der Grundlage von Schätzungen ihrer potentiellen Kosten beurteilt werden können.

Die Entscheidung, welche Maßnahmen ergriffen werden, um den guten Gewässerzustand zu erreichen, darf nicht nur auf der ökologischen Zielsetzung aufbauen. Vielmehr muss auch die ökonomische Seite, d.h. die Kosteneffizienz der möglichen Maßnahmen beurteilt werden. Führen zwei alternative Maßnahmen zum gleichen ökologischen Ziel, so ist die kostengünstigere Maßnahme vorzuziehen.

Mit 2015 ist die Umsetzung der WRRL nicht beendet, denn die Bewirtschaftungspläne sind in einem Zyklus von sechs Jahren zu überprüfen und zu aktualisieren. So wird gewährleistet, dass dem Gewässerschutz auch in Zukunft in Europa die entsprechende Bedeutung beigemessen wird.

Die EU-Mitgliedsstaaten sind verpflichtet, die Richtlinie in nationales Recht zu übertragen und deren Umsetzung zu gewährleisten. Mit der Veröffentlichung der "Verordnung zur Umsetzung der

Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2006 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik“ in Nordrhein-Westfalen ist die WRRL in Deutschland seit dem 14. Februar 2006 komplett in nationales Recht umgesetzt.

### 1.1.2. „Integrierte“ Wasserwirtschaft

In der [DIN4049] wird *Wasserwirtschaft* folgendermaßen definiert:

Die Wasserwirtschaft ist die zielbewusste Ordnung aller menschlichen Einwirkungen auf das ober- und unterirdische Wasser unter Berücksichtigung von ökologischen und sozioökonomischen Aspekten sowie der nachhaltigen Entwicklung mit den Aufgaben:

- Menge und gütemäßige Sicherung der anthropogenen Nutzungsansprüche an das natürliche Wasserdargebot (Wasserbereitstellung, Wasserversorgung, Abwasserbehandlung, Bau- und Unterhaltung der Wasserstraßen).
- Gewässerschutz zur Erhaltung der Selbstreinigungskraft der Gewässer sowie der Erhaltung und Wiederherstellung regenerationsfähiger Ökosysteme.
- Schutz der Gesellschaft vor Schädigungen durch das Wasser.

In der kurzen Formulierung von [Schultz1993]

„Wasserwirtschaft beinhaltet die Umverteilung des natürlichen Wasserdargebots in Zeit und Raum gemäß den Bedürfnissen der Gesellschaft nach Wassermenge und Wassergüte. Hierbei handelt es sich um Maßnahmen der Wassernutzung (z.B. Trinkwasser, Bewässerung, Wasserkraft) oder um Schutz vor Wasser (z.B.: Hochwasser, Vernässung von Böden).“

findet sich kein Hinweis, der auf „integriert“ hindeutet. Wesentlich markanter ist demgegenüber der ausschließlich auf die Bedürfnisse der Gesellschaft zugeschnittene Blickwinkel, worin die Belange der Natur – z.B. die geringstmögliche Belastung des Ökosystems – (noch) keine Erwähnung finden.

Im übergeordneten Kontext *Nachhaltige Entwicklung* spielt der Wasserkreislauf eine bedeutende, um nicht zu sagen essentielle Rolle. Aufgrund der erkannten Notwendigkeiten und neuen Paradigmen bezüglich einer ganzheitlichen Sichtweise hat sich der Begriff *Integrierte Wasserwirtschaft* quasi als Synonym zu *Nachhaltige Wasserwirtschaft* durchgesetzt. Mitunter findet man auch die Bezeichnung *Total Water Management*, die von der *American Water Works Association Research Foundation* (AWWARF) in folgenden Worten beschrieben wird {TotalWater}:

Total Water Management is the exercise of stewardship of water resources for the greatest good of society and the environment. A basic principle of Total Water Management is that the supply is renewable, but limited, and should be managed on a sustainable use basis. Taking into consideration local and regional variations, Total Water Management:

- Encourages planning and management on a natural water systems basis through a dynamic process that adapts to changing conditions;
- Balances competing uses of water through efficient allocation that addresses social values, cost effectiveness, and environmental benefits and costs;

- Requires the participation of all units of government and stakeholders in decision-making through a process of coordination and conflict resolution;
- Promotes water conservation, reuse, source protection, and supply development to enhance water quality and quantity; and
- Fosters public health, safety, and community good will.

[Grigg1998] bringt die wesentlichen Punkte folgendermaßen zum Ausdruck:

(...) central aspects of integrated hydrosystems management include society and environment, stakeholder, watershed and natural water systems, means of water management, time-wise, intergovernmental, water quality and quantity, local and regional concerns and competing uses. Integrated hydrosystems management is as much challenging as compromising between these different aspects in making decisions.

In ähnlicher Weise strukturiert [Yev1995] die Anforderungen an *Integrated Water Resources Management* in vier Dimensionen:

- Es sind alle möglichen Standpunkte in Betracht zu ziehen. Das wird folgendermaßen ausgedrückt: „Comprehensive water resources management (...) should take into account (...) all these external interdependencies in the search for socially, economically, environmentally, financially and politically acceptable, optimal shapes of resulting water resources systems...“.  
(*Comprehensiveness*)
- Quantitative und qualitative Aspekte sowie vielfältige Wechselbeziehungen zu Flora und Fauna sind in die wasserwirtschaftlichen Aktivitäten einzubeziehen. (*Integration*)
- Das Verhalten eines Systems und Auswirkungen von Maßnahmen sind in der angemessenen räumlichen (*Spatial Horizon*)
- und zeitlichen Ausdehnung zu studieren. (*Time Horizon*)

Im Hinblick auf den nationalen Stand der Wissenschaft und Technik und die Anforderungen an eine derartige nachhaltige Wasserwirtschaft wird auf [Kahlenborn und Kraemer 1999] verwiesen. Die neun Prinzipien *Regionalitäts-, Integrations-, Verursacher-, Kooperations- und Partizipations-, Ressourcenminimierungs-, Vorsorge-, Quellenreduktions-, Reversibilitäts-, Intergenerationsprinzip*, die es im Hinblick auf Nachhaltigkeit zu beachten gilt, geben einen Einblick in den Schwierigkeitsgrad zur Durchsetzung einer entsprechenden Vorgehensweise und Bestimmung entsprechender Lösungen.

## 1.2. Veranlassung und Zielsetzungen

Das Paradigma der *Nachhaltigen Entwicklung* und die Forderungen nach einer *integrierten Wasserwirtschaft* erzeugen Handlungsbedarf, damit den komplexen Ansprüchen in angemessener Weise Rechnung getragen werden kann. Die traditionelle Vorgehensweise allein wird nicht die ausreichenden Voraussetzungen bereitstellen können.

### Welche neuen Anforderungen ergeben sich für die Wasserwirtschaft?

Neue Aspekte für die wasserwirtschaftliche Planung und Entscheidungsfindung, die erheblich über die bisherige in Deutschland gängige Praxis hinausgehen, sind im Wesentlichen

- das Flussgebiet als eigentliche Bewirtschaftungseinheit zu betrachten,
- die kombinierte Anwendung von Emissions- und Immissionsregelungen,
- die Berücksichtigung ökologischer und ökonomischer Bewertungsansätze (u.a. wird eine Wirtschaftlichkeitsanalyse der Wassernutzungen sowie die Entwicklung von Kriterien zur Beurteilung der Kosteneffizienz von Maßnahmen gefordert)
- die Beteiligung der Öffentlichkeit.

Die Leitlinien für eine integrierte Wasserwirtschaft, wie auch die übergeordnete Zielsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie – Erreichen eines guten Zustands der Gewässer – bilden den Rahmen für die allgemeine Vorgehensweise: die *Strategie* lässt sich recht einfach formulieren. Im Hinblick auf die praktische Umsetzung (operative Maßnahmen, operationeller Betrieb) stellen sich allerdings einige tiefer gehende Fragen: Wie kann man den hochgesteckten Ambitionen gerecht werden? Auf welche Weise werden vernünftige Entscheidungen getroffen?

### Was war die Motivation für das Projekt

Die WRRL stellt die Forderung nach dem „guten Gewässerzustand“ und gibt einen Rahmenplan mit den zentralen Schritten zum Erreichen der Ziele vor. Dabei steht das *Flussgebiet* im Zentrum der Betrachtungen. Im Detail wird indes eine Bewertung aller Gewässer gefordert, die ein Einzugsgebiet von mindestens 10 km<sup>2</sup> aufweisen. Demzufolge müssen in Deutschland etwa 130.000 Flusskilometer untersucht und eingestuft werden. Bei der Bestandsaufnahme wurden etwa 9000 Flusswasserkörper abgegrenzt und bewertet, wobei die Untersuchungen ergaben, dass ca. 60% den guten ökologischen Zustand in dem von der WRRL vorgegebenen Rahmen wahrscheinlich nicht erreichen werden [UBA2004].

Aus diesen Betrachtungen wird unmittelbar ersichtlich, dass die „eigentliche“ Umsetzung der WRRL auf wesentlich kleinerer Ebene als der des Flussgebiets erfolgen muss. Gerade in kleinen bis mittleren Einzugsgebieten bis zu einer Größe von etwa 300 km<sup>2</sup> mit einem hohen Anteil an besiedelter und landwirtschaftlich genutzter Fläche kann es durch lokale und regionale Übernutzung und

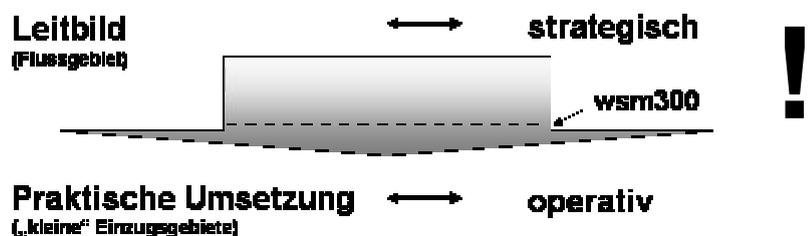


Abbildung 2: Vom strategischen Leitbild zur Umsetzung

Verschmutzung zu einer enormen Belastung für Gesellschaft und Umwelt kommen. Die Notwendigkeit einer ganzheitlichen Betrachtung ist auf (Teil)Einzugsgebiete zu übertragen. Nicht nur für Flussgebiete sondern auch auf dieser überschaubaren Skala sind Strategien im Hinblick auf eine nachhaltige Entwicklung zu aufzustellen, die indes bereits einen konkreten Bezug auf die operative Umsetzung herstellen, wie es Abbildung 2 verdeutlicht.

Auch die WRRL enthält in Artikel 13

...Bei der Planung und Durchführung von Maßnahmen zum Schutz und nachhaltigen Gebrauch von Wasser im Rahmen eines Einzugsgebiets muss diese Diversität berücksichtigt werden. Entscheidungen sollten auf einer Ebene getroffen werden, die einen möglichst direkten Kontakt zu der Örtlichkeit ermöglicht, in der Wasser genutzt oder durch bestimmte Tätigkeiten in Mitleidenschaft gezogen wird. Deshalb sollten von den Mitgliedstaaten erstellte Maßnahmenprogramme, die sich an den regionalen und lokalen Bedingungen orientieren, Vorrang genießen.

und Artikel 14

Der Erfolg der vorliegenden Richtlinie hängt von einer engen Zusammenarbeit und kohärenten Maßnahmen auf gemeinschaftlicher, einzelstaatlicher und lokaler Ebene ab.....

Hinweise auf das „Herunterskalieren“ auf kleinere Einzugsgebiete.

Folgende Thesen fassen obige Überlegungen zusammen:

- **Einzugsgebiete ganzheitlich betrachten:** Wasserwirtschaftliche Planung im Sinne nachhaltiger Entwicklung findet auf Einzugsgebietsebene statt.
- **Kleine Einzugsgebiete:** Entscheidungen, die zu konkreten wasserwirtschaftlichen Maßnahmen führen, werden meist auf der Ebene von Einzugsgebieten bis zu einer Größe von ca. 300 km<sup>2</sup> getroffen.
- **Komplexes Ursache-Wirkungs-Geflecht:** Der Sachverhalt der einzugsgebietsspezifischen Betrachtung stellt Planer und Entscheider vor komplexe Probleme, denn infolge der Überlagerung unterschiedlicher anthropogener Einwirkungen sind konkrete Handlungs- und Gefährdungspotentiale nur schwer abzuschätzen.
- **Maßnahmenvielfalt:** Prinzipiell existiert bereits eine ausreichende Vielfalt konstruktiver, betrieblicher und organisatorischer Maßnahmen, die im Zuge wasserwirtschaftlicher Planungen umgesetzt werden können. Dabei handelt es sich sowohl um in der Praxis hinreichend bewährter als auch zahlreicher innovativer – häufig in geförderten Pilotprojekten erprobter - technischer und organisatorischer Maßnahmen. Als Beispiel seien hierzu Aktivitäten zur alternativen Regen- bzw. Mischwasserbehandlung genannt, wie etwa Brauchwassernutzung, dezentrale Versickerung von Niederschlagswasser von wenig verschmutzten Flächen, Bodenfilter zur Behandlung von entlastetem Mischwasser u.v.m.
- **Tradition:** Traditionelle Planung ist in den meisten Fällen jedoch noch auf die Durchführung von Einzelmaßnahmen beschränkt. Die flächendeckende und aufeinander abgestimmte Anwendung von Maßnahmen innerhalb eines Einzugsgebiets geht nur zögerlich vonstatten. Die Ursache dafür liegt nicht zuletzt an einer mangelnden praktischen Unterstützung bei der Durchführung der erforderlichen Aufgaben. Viele Experten sind der Ansicht, dass in dieser Beziehung Entwicklungs- und Überzeugungsbedarf besteht.

- **Maßnahmenprogramm:** Ein Maßnahmenprogramm kann sich in vielerlei Hinsicht auswirken und z.B. Vorteile für den Hochwasserschutz oder den natürlichen Gewässerlauf bieten und Nachteile für Landwirte oder Unterlieger mit sich bringen. Die Beurteilung und Bewertung eines Programms muss systematisch unter simultaner Berücksichtigung mehrerer Kriterien erfolgen.
- **Konfliktumfeld:** Erschwerend für die Aufstellung von Managementplänen kommt hinzu, dass Entschlüsse im Allgemeinen innerhalb eines Umfelds mit zum Teil kontroversen Auffassungen zu treffen und in der Öffentlichkeit zu vertreten sind.
- **Entscheidungsebene:** Die Entscheidungen werden nicht notwendig von Experten der Wasserwirtschaft getroffen. Die Entscheider benötigen relevante Informationen in konzentrierter und verständlicher Form.
- **Wirtschaftlichkeit:** Ausgaben für wasserwirtschaftliche Belange machen einen beträchtlichen Teil des öffentlichen Gesamthaushalts aus. Entscheidungen sind streng nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu treffen, um notwendige Investitionen an anderer Stelle nicht unnötig zu behindern.
- **Gutes Potenzial:** Bessere Methoden und Werkzeuge zur Unterstützung integrierter Planungs- und Managementaufgaben besitzen ein großes Potential im Hinblick auf den effektiven Einsatz finanzieller Mittel und eine Reduzierung der Umweltbelastung.

Der Erfolg des Managements besteht darin, die passenden Entscheidungen zu treffen, um gleichzeitig kurz-, mittel- und langfristige Entwicklung voranzutreiben als auch die Nachhaltigkeit zu gewährleisten. Gerade im vorliegenden Umfeld dürfte die Beurteilung sehr schwer fallen, ob eine Entscheidung „richtig“ ist, d.h. die gewünschten Konsequenzen zeitigt. Die politische und wasserwirtschaftliche Praxis steht vor der schwierigen Frage: Welches Maßnahmenprogramm führen wir für ein gegebenes Einzugsgebiet durch?

Wie es der Titel „Verbesserte Ansätze für Wasser- und Stoffstrommanagement...“ zum Ausdruck bringt, bestand für das Projekt WSM300 die Motivation darin, zur Beantwortung dieser Fragestellung wesentliche Unterstützung zu liefern. 

Denn trotz aller spezifischen Gegebenheiten für unterschiedliche Einzugsgebiete muss es dennoch möglich sein, eine weitgehend übereinstimmende und kohärente Methodik und unterstützende Werkzeuge zur Aufstellung eines Maßnahmenprogramms zu beschreiben (so mannigfaltig die erforderlichen und nützlichen Maßnahmen auch sein mögen).

## Wie werden Entscheidungsprozesse unterstützt?

Folgendes einfaches Beispiel soll die prinzipielle Problematik der Entscheidungsfindung verdeutlichen:

Nehmen wir an, aus Reparaturgründen oder infolge Familienzuwachses ist ein neues Auto fällig. Hierfür gibt es eine große Anzahl von Alternativen in den unterschiedlichsten Ausprägungen. Die Antwort auf die Frage, welchen Wagen man kaufen sollte, lautet banalerweise: „Den Besten!“. Die Bestimmung dieser besten Lösung – für die man sich *entscheiden* würde - gestaltet sich mitunter jedoch sehr schwierig, da ein Ausgleich zwischen unterschiedlichen Vorlieben und gegensätzlichen Aspekten gefunden werden muss. Zwar wird in den meisten Fällen eine ungefähre Preisvorstellung die Auswahl einschränken; nichtsdestoweniger bestehen etliche Freiheitsgrade für Fahrzeugtyp, Motorisierung, Ausstattung, Kosten für die Versicherung u.v.m. Somit müsste die Antwort präziser lauten: „Den Wagen, der am Besten für einen ist!“ Das Einzige,

was im Hinblick auf eine systematische Entscheidungsfindung hilft, ist die vergleichende Gegenüberstellung der in Frage kommenden Alternativen mit ihren jeweiligen Ausprägungen.

Zweifellos wird es gerade im vorliegenden wasserwirtschaftlichen Umfeld aufgrund unterschiedlicher Präferenzen häufig zur Kollision von Interessen kommen. Beispielsweise können Naturschutz und Landwirtschaft oder Hochwasserschutz und kommunale Interessen in Gestalt von baulicher Nutzung gegensätzliche Ansprüche vertreten. Es sollen und können an dieser Stelle jedoch keine grundlegenden „psychologischen“ Betrachtungen zur Entscheidungsfindung durchgeführt werden, inwiefern z.B. der Diskurs zwischen den einzelnen Parteien moderiert wird.

Im Zusammenhang mit diesem Projekt ist primär von Interesse, Entscheidungsprozesse durch Bereitstellung entscheidungsrelevanter Informationen zu unterstützen. Das beinhaltet im Wesentlichen, geeignete Maßnahmenkombinationen entwerfen und deren Auswirkungen im Hinblick auf die gewählten Ziele abschätzen zu können, so dass auch hier eine vergleichende Gegenüberstellung von Varianten möglich ist.

Diese Aufgabe lässt sich verbal zwar recht einfach in wenigen Sätzen beschreiben. In dem komplexen Umfeld sind allerdings viele Teilaspekte zu beachten, wie die Anzahl und Vielfalt der aufgestellten Thesen beweist. Welche Maßnahmen sollen wo und in welcher Form zur Anwendung kommen? An welchen Kriterien wird die Beurteilung im Detail festgemacht? Wie werden sich die Maßnahmen denn aller Voraussicht nach auswirken? Häufig überlagern sich die Wirkungen von Maßnahmen oder sind infolge der Variabilität des Niederschlags nicht unmittelbar vorhersehbar. Inwiefern ist eine Strategie einer anderen vorzuziehen?

In dem Planungs- und Entscheidungsprozess sind im Grunde folgende Arbeitsschritte zu unterstützen

- Formulierung konkreter Zielsetzungen
- Aufstellung Erfolg versprechender Varianten (Maßnahmenkombinationen)
- Bestimmung der Auswirkungen der Maßnahmenkombinationen auf die Ziele

Ausgehend von dieser Liste muss darüber hinaus der systematische Vergleich von Varianten ermöglicht werden, indem z.B. Präferenzen durch unterschiedliche Gewichtung der Ziele zum Ausdruck gebracht werden. Infolge der Beteiligung mehrerer Parteien und Personen mit unterschiedlichem „Background“ ist besonderer Wert auf die angemessene und anschauliche Darstellung der Sachverhalte zu legen.

### Welche Ziele ergeben sich daraus?

Naheliegenderweise ergeben sich aus den Überlegungen zu den Notwendigkeiten und zur Unterstützung der Planung und Entscheidungsfindung unmittelbar die Zielsetzungen für das Projekt WSM300:

- Bereitstellung eines **methodischen und technischen Rahmens** für die **multikriterielle Analyse**,
- Unterstützung bei der **Auswahl von Zielen**,
- Unterstützung bei der **Auswahl von Maßnahmen**,
- Unterstützung bei der **Bestimmung der Auswirkungen von Maßnahmen**,
- Angemessene **Veranschaulichung von Sachverhalten** im Einzugsgebiet,
- Durchführung von **vergleichenden Bewertungen**,
- Exemplarische Durchführung in **Fallstudien**, Bereitstellung von **Erfahrungsberichten** und Formulierung der **Vorgehensweise in der Praxis**.

## 1.3. Das Projekt im Überblick

Die [DIN69901] „definiert“ ein *Projekt* als ein

"Vorhaben, das im wesentlichen durch Einmaligkeit der Bedingungen in ihrer Gesamtheit gekennzeichnet ist ...".

Diese Einmaligkeit bezieht die DIN auf die Zielvorgabe, auf Begrenzungen (zeitlich, finanziell, personell), auf die Organisationsform oder ganz einfach auf die Abgrenzung gegenüber anderen Vorhaben. In der Praxis wird diese Definition etwas weitläufiger umschrieben als

„ein Vorhaben, das in vorgegebener Zeit und beschränktem Aufwand ein eindeutig definiertes Ziel erreichen soll, wobei der genaue Lösungsweg weder vorgegeben noch bekannt ist“.

Eine Aufgabenstellung kann und sollte in der Regel als Projekt betrachtet werden, sofern das zu lösende Problem relativ komplex ist, der Lösungsweg zunächst unbekannt ist, eine zeitliche Begrenzung und ein definiertes Ziel vorliegt, und/oder bereichs-/fachübergreifende Zusammenarbeit erforderlich ist.

Die Komplexität des Problems liegt beispielsweise darin, dass

- es eine Vielzahl von Lösungswegen gibt, deren Erfolg zu Projektbeginn unbekannt ist
- das Ziel bei genauer Analyse widersprüchliche Teilziele enthält (Zielkonflikte)
- die involvierten und zusammen arbeitenden Organisationen oder Instanzen verschiedenen Sachlogiken gehorchen
- die einzelnen Maßnahmen zur Zielerreichung vielfältig ineinander greifen.

Das Bewusstsein um die steigenden Anforderungen an die Wasserwirtschaft nicht zuletzt durch die Verabschiedung der EU-Wasserrahmenrichtlinie und das Wissen um die Möglichkeiten, die prinzipiell zur Verfügung stehen, aber in der Praxis indes nicht in ausreichendem Umfang zum Einsatz kommen, motivierte zur Formulierung des **Projektes** „Verbesserte Ansätze für Wasser- und Stoffstrommanagement in intensiv genutzten kleinen Einzugsgebieten auf der Grundlage von integrierten Nutzen- und Risikobewertungen“, dessen Zielsetzungen im vorgehenden Abschnitt genannt wurden.

Hierzu taten sich die folgenden Kooperationspartner zusammen:

- **Sydro**: Sydro Consult Ingenieurgesellschaft für Systemhydrologie, Wasserwirtschaft und Informationssysteme GbR
- **IHWB**: TU Darmstadt, Institut für Wasserbau und –wirtschaft, Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung
- **IPS**: Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH, Berlin
- **LfL**: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig
- **FG WRH**: TU Berlin, Institut für Technischen Umweltschutz , FG Wasserreinhaltung

Sie bildeten eine Gemeinschaft von Wissenschaft, Behörde und Ingenieurspraxis, in der die Aspekte für integrierte Wasserwirtschaft in angemessener Vielfalt repräsentiert waren.

Die Zielsetzungen und die praktische Ausrichtung nahmen die Kooperationspartner zum Anlass, eine Förderung des Projektes seitens der *Deutschen Bundesstiftung Umwelt* zu beantragen. Eine effizientere

wasserwirtschaftliche Planung mit „besseren“ Ergebnissen führt direkt und indirekt zu einer *Umweltentlastung*, indem finanzielle Mittel wirtschaftlich eingesetzt werden und auf diese Weise Maßnahmen für die Umwelt an anderer Stelle nicht behindert oder verzögert werden.

Die in den Untersuchungen und Anwendungen gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich der Anforderungen an Methodik und an Werkzeuge für die Planungspraxis sollten prinzipiell auf beliebige Einzugsgebiete in Mitteleuropa zu übertragen sein.

Die Arbeitsgebiete im Projekt WSM300, dessen Laufzeit vom 16. Juni 2002 bis zum 31. Oktober 2005 ging, wurde in drei „Hauptkategorien“ aufgliedert (Abbildung 3):

- **Fachliche Konzepte/Methodik**  
„Maßnahmen und Modelle“ sowie „Zielgrößen und Bewertung“
- **Technische Grundlagen**  
Decision Support System
- **Anforderungen der Praxis/Einsatzbarkeit**  
Fallstudien *Panke*, *Saidenbach* und *Modau*

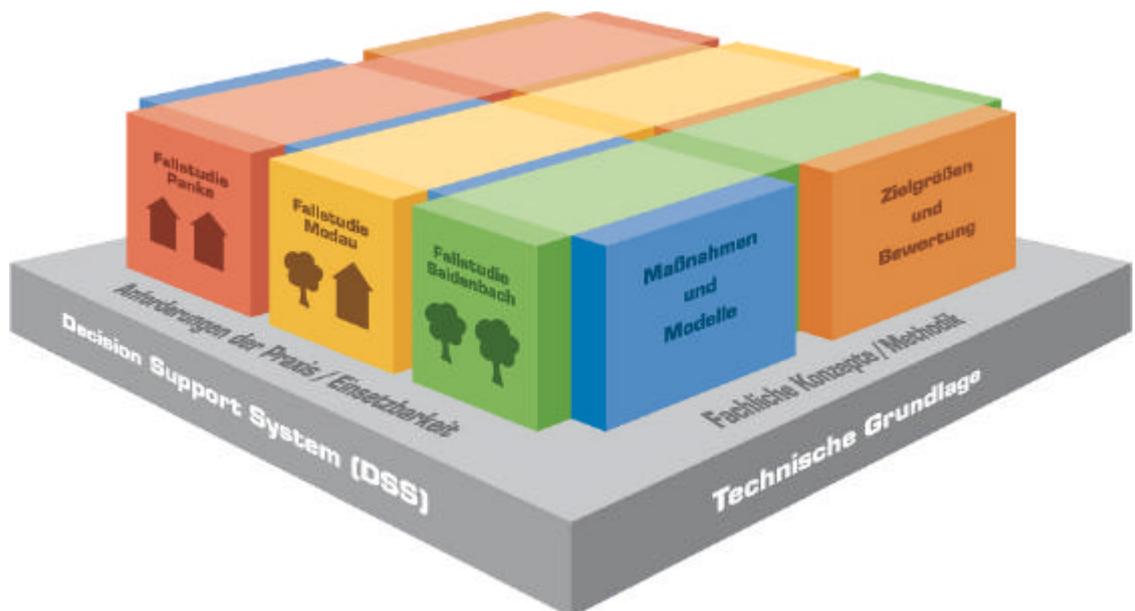


Abbildung 3: „Hauptkategorien“ des Projektes WSM300

Den Bezug zwischen den Schwerpunkten des Projektes und den Kooperationspartnern soll Abbildung 4 verdeutlichen.

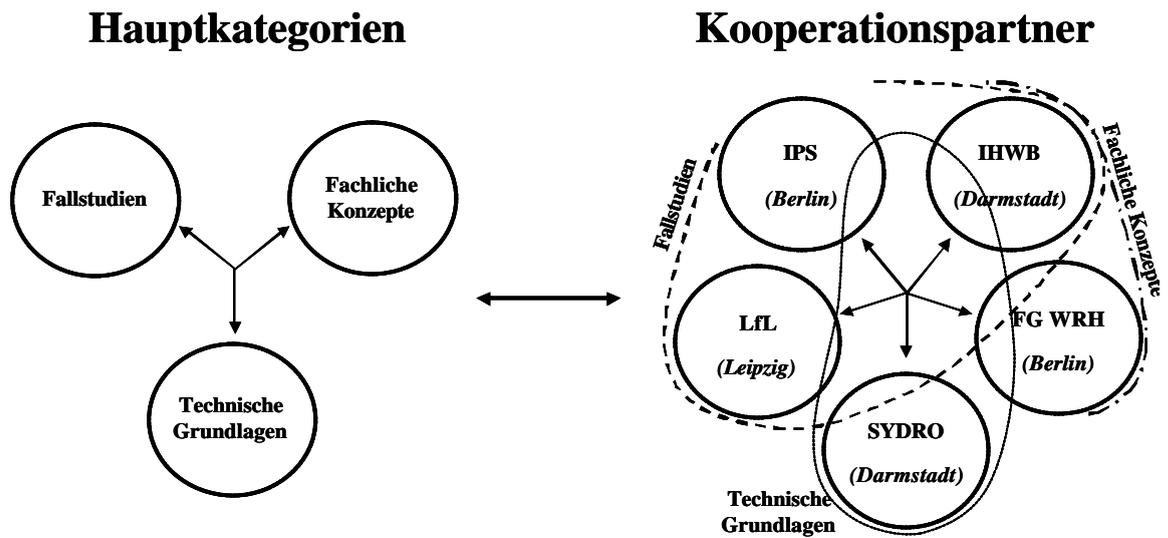


Abbildung 4: Projektkategorien und Kooperationspartner

Die Hauptkategorien spiegeln sich in der Struktur dieses Berichts wieder:

### Fachliche Konzepte/Methodik

In *Kapitel 2* wird unter dem Titel *Methodik zur Vorgehensweise bei der Entscheidungsfindung* der Rahmen für die Organisation und Durchführung der Entscheidungsprozesse aufgestellt, indem diese in einzelne Arbeitsschritte unterteilt werden, die bei Bedarf wiederholt zu durchlaufen sind.

Im Einzelnen wird dabei untersucht, wie unterschiedliche Maßnahmenprogramme entwickelt werden, dass anschließend deren „Wirksamkeit“ abgeschätzt werden muss und wie die einzelnen Varianten miteinander verglichen werden können.

Die dabei gewonnen Erkenntnisse müssen dem „Entscheidungsgremium“ in einer Weise zur Verfügung gestellt werden, dass den beteiligten Personen die Sachverhalte klar werden.

### Technische Grundlagen

Die anspruchsvolle Methodik ist ohne die Unterstützung des Computers nicht in die Praxis umzusetzen, wofür das entsprechende Konzept in *Kapitel 3* mit dem Titel *Decision Support: Konzept und Komponenten* vorgestellt wird. Die technischen Grundlagen in Gestalt geeigneter Programmanwendungen (Software) ergeben ein Decision Support System. Je nach Bedarf an entscheidungsrelevanten Informationen können z.B. unterschiedliche Simulationsmodelle und Analysewerkzeuge zum Einsatz kommen.

## Anforderungen der Praxis/Einsatzbarkeit

Die Untersuchungen und Entwicklungen wurden auf der Grundlage von *drei Fallstudien* durchgeführt. Die zur angesprochenen Kategorie bis zu 300 km<sup>2</sup> zählenden Einzugsgebiete weisen hierbei zum Teil unterschiedliche Charakteristika hinsichtlich der Nutzungsschwerpunkte auf. Diese Auswahl, die in den *Kapiteln 4 - 6* ausführlich dargestellt wird, liefert eine umfassende und repräsentative Palette von Sachverhalten, Anforderungen und Eventualitäten, auf deren Basis allgemeingültige Aussagen und Entwicklungen zu treffen sind. Es wird darauf hingewiesen, dass die Ausführungen zu den Fallstudien am Ende des jeweiligen Kapitels über eigene Quellenangaben (Literatur) verfügen.

### **Fallstudie Panke**

Als Flachlandfluss entwässert die Panke im Nordosten Berlins und im angrenzenden Brandenburger Umland ein Einzugsgebiet etwa 200 km<sup>2</sup>. Der Berliner Teil der Panke (17 von insgesamt 27 km) des Laufs ist stark urban geprägt mit einem durchweg begradigten und zum Teil sehr stark eingetieften Bett. Die Sohle ist zu etwa zwei Drittel fast durchgehend geschottert, ein Drittel des Laufs weist eine Betonsohle auf. Die Durchgängigkeit ist als Folge der zahlreichen Querbauwerk, Verrohrungen und Durchlässe stark eingeschränkt. Wegen des Siedlungsdrucks im Brandenburger Teil ist mit einer weiteren Zunahme der Belastungen zu rechnen.

### **Fallstudie Saidenbach**

Das ca. 60 km<sup>2</sup> große Einzugsgebiet der Trinkwassertalsperre Saidenbach wird überwiegend landwirtschaftlich genutzt und unterscheidet sich im Hinblick auf Besiedlungsdichte, Kanalisationsanschlussgrad, Flächennutzung und der Niederschlagshöhe deutlich von den beiden anderen Fallstudien. Zusätzlich handelt es sich hier um ein stehendes Gewässer. Als Bestandteil des Talsperrensystms Mittleres Erzgebirge bildet die Talsperre eine wichtige Grundlage für die Trinkwasserversorgung des Großraumes Chemnitz. Insofern genießt die beständige Sicherung der Wasserqualität sehr hohe Priorität, die indes durch die Stoffeinträge aus landwirtschaftlich genutzten Bereichen, aus Hauskläranlagen und durch Straßenabwässer beeinträchtigt wird.

### **Fallstudie Modau**

Das ca. 200 km<sup>2</sup> große Einzugsgebiet der Modau liegt am südlichen Rand des Rhein-Main-Gebiets und erstreckt sich vom westlichen Odenwald über die Bergstraße bis in die hessische Rheinebene. Es gehört zu den überdurchschnittlich hoch besiedelten Gebieten Hessens. Zudem wird ein Großteil der Fläche infolge der günstigen bodenkundlichen und klimatischen Verhältnisse landwirtschaftlich intensiv genutzt und in der Rheinebene erfolgt eine beträchtliche Grundwassergewinnung. Im Hinblick auf integriertes Wasser- und Stoffstrommanagement sind demzufolge zahlreiche Aspekte einzubeziehen.

### 1.3.1. Weitere Informationen zu Verbreitung und Veröffentlichung

Für das Projekt WSM300 existiert seit Dezember 2002 eine eigene *Internetseite*, die unter [www.wsm300.de](http://www.wsm300.de) zu erreichen ist. Dort gibt es nähere Informationen zu den Projekthinhalten und insbesondere weiterführende Links zu den drei Fallstudien und vielen Projekten zu verwandten Aufgabenstellungen.

Eine der ersten Aktivitäten im Projekt bestand in der Erstellung eines 6-seitigen *Faltblattes* im Format A4, das zu sämtlichen Anlässen eine Grundlage für die Diskussion der Konzepte und Zielsetzungen darstellte.

In Heft Nr.2 der *KA Abwasser, Abfall* im Februar 2003 wurde der Schwerpunkt „Decision Support Systems“ behandelt. Darin wurde unter dem Titel „Entwicklung eines Decision Support Systems für die integrierte wasserwirtschaftliche Planung in kleinen Einzugsgebieten“ die Konzepte des Projektes dargestellt, ohne dass in diesem relativ frühen Projektstadium bereits auf Ergebnisse Bezug genommen werden konnte [WSM300KA].

In jeder der drei Fallstudien wurden mehrere *Veranstaltungen* durchgeführt, in der die „lokale“ Öffentlichkeit über die Arbeiten und Konzepte in Kenntnis gesetzt und auf diese Weise zur Mitarbeit in den „Gewässerbeiräten“ motiviert werden sollte.

Das Projekt oder Teilaspekte wurden auf einigen *Konferenzen* in Vorträgen vorgestellt oder als Poster präsentiert.

- Auf der Fachmesse „Wasser Berlin 2003“.
- *Web-based GIS and a measure data-base as tools for a Decision Support System for integrated water resource planning in small catchment areas*. Poster (E. Thiel) auf dem 11th Magdeburg Seminar on Waters in Central and Eastern Europe: Assessment, Protection, Management vom 18. – 22. Oktober 2004 am Umweltforschungszentrum.
- *Erosion 3D & WebGIS ArcIMS – Kombinierte Nutzung zweier Werkzeuge für das Einzugsgebietsmanagement*. Poster (E. Thiel) auf dem Workshop der AG „Bodenerosion“ der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft am 14./15.10.2004 in Kiel zum Thema „Konzepte zur Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie – Was können wir aus Sicht der Erosions- und Landschaftsforschung dazu beitragen?“.
- *Development of a Decision Support System for Integrated Water Resources Management in intensively Used Small Watersheds*. Vortrag (K. Schröter) auf der IAHR, IAHS, IWA, 6th International Conference on Hydroinformatics, Juni 2004, Singapur.
- *Development of a Decision Support System for Integrated Water Resource Planning in Small Watersheds*. Posterpräsentation (K. Schröter) auf der BHS International Conference on Hydrology: Science & Practice for the 21<sup>st</sup> Century, 12. - 16. Juli 2004, London.
- *Immission-oriented integrated modelling of urban, natural and agricultural areas*. Vortrag (K. Schröter) auf der 6th international Conference on Urban Drainage Modelling - UDM'04, 15th - 17th September 2004, Dresden, Germany.

- *Planning, Modelling and Assessing Source Control Concepts on Catchment Scale*. Vortrag (C. Peters) auf dem World Water Congress, Marrakech, International Water Association, 2004. Hierzu gibt es auch den gleichnamigen Beitrag in *Water Science and Technology* 52 (12): 63-71, 2005.
- *Decision Support in der Praxis zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie*. Poster (A. Leichtfuß) zum Tag der Hydrologie im März 2005 in Aachen
- *Development of a decision support system for integrated water resources management in intensively used small watersheds*. Vortrag (H. Sieker) auf der 10<sup>th</sup> International Conference on Urban Drainage (ICUD) in Kopenhagen, August 2005.
- *Urban Water Management and Planning in the Context of integrated Water Resources Management: Modau Case Study*. Vortrag (K. Schröter) auf der 7<sup>th</sup> International Conference on Urban Drainage Modelling, Melbourne, April 2006.

Zudem wurde gemeinsam mit dem EU-Projekt DayWater (5. Rahmenprogramm) der Workshop „Decision Support Systeme: Entscheidungshilfesysteme in der Wasserwirtschaft“ am 30./31. Oktober 2003 in Berlin organisiert.

Am 30. Juni und 1. Juli 2005 fand in den Räumlichkeiten des Zentrums für Umweltkommunikation (ZUK) in Osnabrück eine 2tägige *Informationsveranstaltung* statt, in der die Konzepte und Ergebnisse des Projektes einem Teilnehmerkreis von ca. 50 Personen aus unterschiedlichen Bereichen (Behörden, Ingenieurbüros, Umweltschutzverbänden, u.a.) vorgestellt wurden.

In diesem Zusammenhang besteht die Perspektive, aufgrund der Ausrichtung des Projektes auf kleinere Einzugsgebiete diese Veranstaltung an verschiedenen Orten in der Bundesrepublik Deutschland anzubieten, um die regionalen Behörden ansprechen zu können. In dieser Hinsicht bedarf es jedoch zusätzlicher organisatorischer und materieller Unterstützung z.B. durch Verfügbarkeit geeigneter Räumlichkeiten.

## 2. Methodik zur Vorgehensweise bei der Entscheidungsfindung

Gemäß dem Titel des Projektes geht es um „Verbesserte Ansätze für Wasser- und Stoffstrommanagement...“.

### Was heißt überhaupt „Management“?

Der Begriff *Management* (von lat. Manum agere = „an der Hand führen“) wurde bereits früh im zwanzigsten Jahrhundert durch Mary Follet mit

„die Kunst zusammen mit anderen Menschen etwas zu erledigen“

definiert [Foll96]. Bis zum heutigen Tag ist dieser Begriff mit einer gewissen Unschärfe belegt, die daraus resultiert, dass die Erledigung von Aufgaben prinzipiell auch ohne „Führung“ möglich ist.

Er kann in *funktionaler* Hinsicht verwendet werden, wenn damit

- eine Tätigkeit, einen Vorgang bzw. Prozess (z.B. Projektmanagement, Zeitmanagement, Wissensmanagement u.v.m.) oder
- die Gesamtheit der üblichen Tätigkeiten zur Führung oder Verwaltung von Organisationen bezeichnet wird;

oder mit *institutioneller* Bedeutung für

- eine Personengruppe mit vorwiegend organisatorischer oder leitender Tätigkeit oder auch
- Agenten von Sportlern, Künstlern und anderen Selbständigen.

Management entspricht im betriebswirtschaftlichen Zusammenhang der Unternehmensführung. Aufgabe eines Managers ist die Planung, Durchführung, Kontrolle und Anpassung von Maßnahmen zum Wohl der Organisation bzw. des Unternehmens und aller daran Beteiligten unter Einsatz ihm zur Verfügung stehenden betrieblichen Ressourcen.

Ganz pragmatisch ist hier unter Management der Prozess zu verstehen, bei dem durch aktives Handeln unter Nutzung von Ressourcen erwünschte oder geplante Ergebnisse erzielt werden sollen.



### 2.1. Einleitung – Vom Entscheiden

Der Erfolg des Managements liegt darin, erwünschte oder geplante Ergebnisse zu erzielen und

„Erfolg ist die Summe richtiger Entscheidungen“

## Was ist eine „Entscheidung“?

Eine *Entscheidung* ist das Treffen einer Auswahl zwischen mehreren Handlungsalternativen (auch *Optionen* genannt) nach einer *Entscheidungsfindung* (siehe weiter unten), wobei eine gezielte Veränderung der aktuellen Situation bezweckt werden soll. In den meisten Fällen kann nicht vorhergesagt werden, ob die Veränderung auch in der gewünschten Weise eintreten wird, da nicht alle Einflussfaktoren bekannt sind, d.h. eine Entscheidung beruht nahezu immer auf *Unsicherheit*. Daraus ist zu folgern, dass Entscheidungen oft umstritten sind, da zusätzlich zu unterschiedlichen Ansichten hinsichtlich der zu erzielenden Änderung jeder die verbleibende Unsicherheit mit anderen Annahmen belegt.

Als überaus wichtige Regel zum Fällen von Entscheidungen kann gelten, dass die Entscheidung umso leichter fällt, je kleiner die Unsicherheit ist. Eine rationell fundierte Entscheidung erfordert das Vorhandensein möglichst vieler verlässlicher entscheidungsrelevanter Informationen, die vom Entscheidungsträger ausgewertet und in den Entscheidungsprozess eingebunden werden.

## Was beinhaltet Entscheidungsfindung?

*Entscheidungsfindung* ist ein Prozess, um zu einer *Entscheidung* bezüglich einer Handlung zu gelangen. Insbesondere wenn mehrere Personen bei einer Entscheidung mitwirken sind komplexe Auswahl- und Verhandlungsprozesse zu erwarten, für deren Teilnahme es normalerweise einer Legitimation als Entscheidungsträger bedarf. In der Regel wird die Entscheidung durch einen Konsens oder durch Mehrheitsbeschluss herbeigeführt.

Sicherlich kann der Prozess der Entscheidungsfindung auch damit enden, dass lediglich eine Empfehlung hinsichtlich der Wahl einer Option ausgesprochen wird und die *eigentliche* Entscheidung den verantwortlichen Stellen zu überlassen. Das erleichtert die Legitimation am Entscheidungsfindungsprozess, wie das für den Gewässerbeirat (siehe 2.2) der Fall ist.

Eine Entscheidung kann zunächst auch eine Eingrenzung auf mehrere favorisierte Optionen sein („engere Wahl“). Darauf basierend kann eine erneute Entscheidungsfindung erfolgen.

## Wie wird „systematisch“ entschieden?

Die *Entscheidungstheorie* ist ein Zweig der angewandten Wahrscheinlichkeitstheorie, der den Entscheidungsprozess systematisch beschreibt und die Konsequenzen von Entscheidungen evaluiert.

Das Grundmodell der (normativen) Entscheidungstheorie besteht aus dem *Entscheidungsfeld* und dem *Zielsystem*. Das Entscheidungsfeld beinhaltet den *Aktionsraum* (Menge der möglichen Handlungsalternativen), den *Zustandsraum* (Menge der möglichen Umweltzustände) und eine *Ergebnisfunktion*, die jeder Kombination von Aktion und Zustand einen Wert zuordnet. Ein häufiges Problem ist, dass nicht bekannt ist, wie der tatsächlich eintretende Umweltzustand aussehen wird.

Die Unsicherheitssituation lässt sich gliedern in

- Entscheidung unter *Sicherheit* : Die eintretende Situation ist bekannt.
- Entscheidung unter *Unsicherheit*: Es ist nicht mit Sicherheit bekannt, welche Umweltsituation eintritt, man unterscheidet dabei weiter in:
  - Entscheidung unter *Risiko* Die Wahrscheinlichkeit für die möglicherweise eintretenden Umweltsituationen ist bekannt. (Stochastisches Entscheidungsmodell)

- o Entscheidung unter *Ungewissheit*. Man kennt zwar die möglicherweise eintretenden Umweltsituationen, allerdings nicht deren Eintrittswahrscheinlichkeiten.

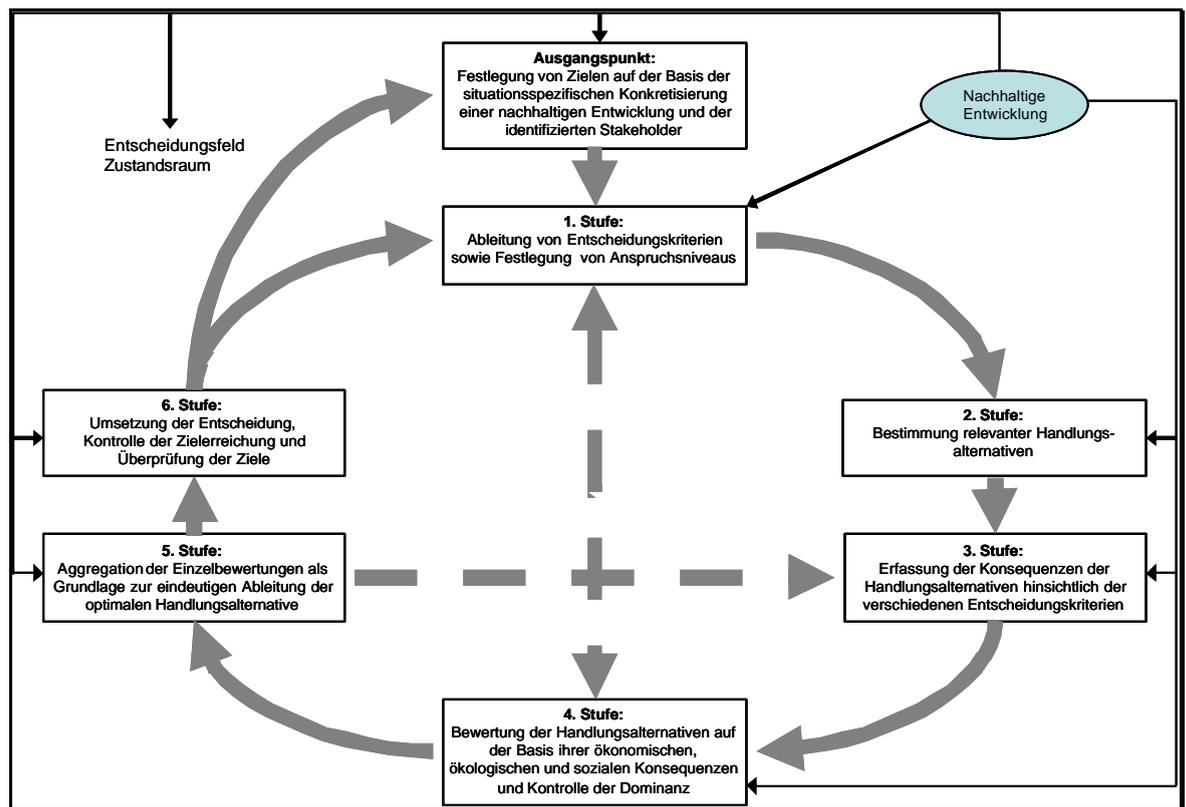
Der *rationale* Entscheider wird diejenige Handlungsalternative bevorzugen, die mit größter Wahrscheinlichkeit die von ihm bevorzugte Umweltsituation herbeiführt.

Hierbei besteht gegebenenfalls ein weiteres Problem: Eine Entscheidung kann sowohl durchaus positive als auch unerwünschte Auswirkungen haben, d.h. es kann sein, dass die aus verschiedenen Entscheidungen resultierenden Umweltsituationen nicht ohne weiteres miteinander vergleichbar sind.

Im Hinblick auf diese Problematik kommen in der Entscheidungstheorie Methoden wie z.B. die einfache *Nutzwertanalyse* (NWA, 2.8.1) oder der *Analytic Hierarchy Process* (AHP) zur Anwendung, bei dem Kriterien im Sinne von Gesichtspunkten und Alternativen im Sinne von Lösungsvorschlägen dargestellt, verglichen und bewertet werden, um die optimale Lösung zu einer Entscheidung oder Problemstellung zu finden.

### Wie verläuft der Prozess der Entscheidungsfindung?

Der Entscheidungsprozess läuft unabhängig von der Problemstellung stets nach dem ähnlichen Muster ab. Abbildung 5 verdeutlicht die einzelnen Schritte des *Entscheidungsmodells*; die *nachhaltige Entwicklung* könnte auch durch einen anderen Themenkomplex ersetzt werden.



Quelle: [Schuh2001b]

Abbildung 5: Entscheidungsmodell für die Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung

Die Pfeile bringen den iterativen Charakter des Prozesses zum Ausdruck. Einzelne Teilprozesse können bis zum endgültigen Treffen einer Entscheidung mehrmals zu durchlaufen sein.

In der Antragstellung zu dem Projekt WSM300 wurde eine eigene Darstellung der Schritte im Entscheidungsprozess präsentiert (Abbildung 6).

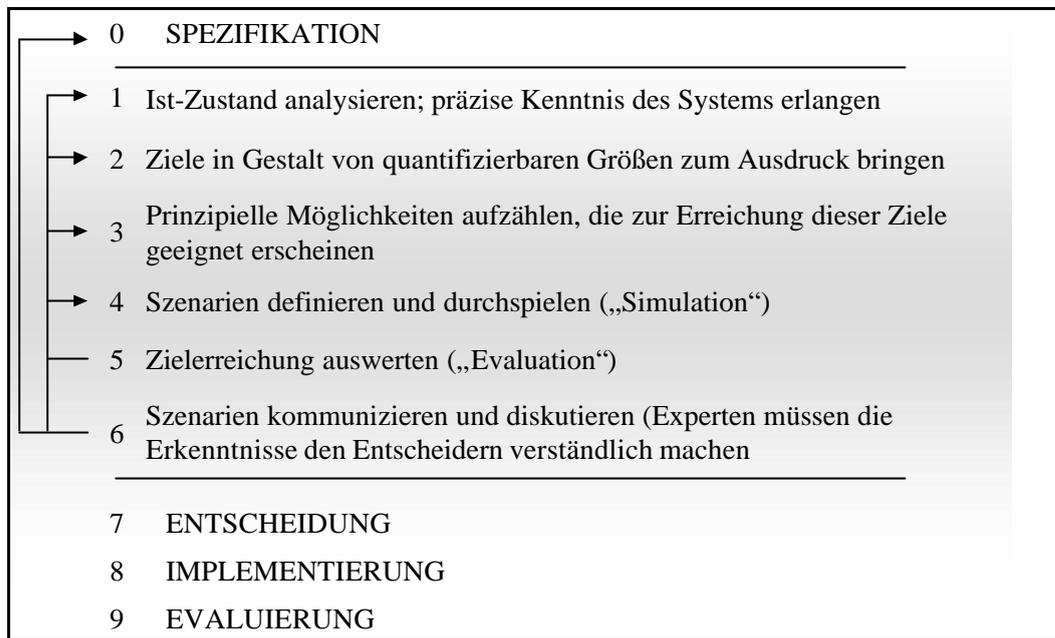


Abbildung 6: Schritte im Entscheidungsprozess

Hierin wird stärker Bezug genommen auf die Tätigkeiten, die gemäß dem Kontext „Bestimmung einer Strategie für die Wasserwirtschaft im Einzugsgebiet“ in den jeweiligen Schritten durchzuführen sind. Auch hier weisen die Pfeile darauf hin, dass in der Regel mehrere Anläufe unternommen werden müssen, um sukzessive Licht in die Problematik zu bringen und die Wahrscheinlichkeit für eine gute Entscheidung zu erhöhen.

Diese grobe Strukturierung des prinzipiellen Prozessablaufs selbst stellte eine relativ einfache Aufgabe mit einem einleuchtenden Ergebnis dar. Viel schwieriger gestaltet sich jedoch die konkrete Durchführung einzelner Arbeitsschritte. In Abbildung 6 wird durch die Einfärbung zum Ausdruck gebracht, dass dahingehend höhere Anforderungen gestellt werden. Insbesondere die Schritte 3 und 4 mit der Spezifikation und Untersuchung von Szenarien mit Hilfe von Computernmodellen erfordern in vielen Fällen äußerst komplexe und aufwendige Untersuchungen und können nicht ohne fundiertes fachliches Know-how absolviert werden. **!**

Soll beispielsweise eine Entscheidung zum Hochwasserschutz auf Basis von dezentralen Maßnahmen getroffen werden, dann kann das gemäß Abbildung 6 folgende Tätigkeiten erfordern:

- In den Schritten 1 bis 3 ist die Auswertung des Geländes und Bestimmung potenzieller Retentionsstandorte durchzuführen
- Wie die Auswahl von Standorten zu einer Änderung der Abflusssdynamik führt und welche Auswirkungen das auf die überschwemmten Flächen hat, wird in Schritt 4 studiert.
- Danach sind in Schritt 5 die Schadenspotentiale zu ermitteln.
- Die Überschwemmungsbereiche sind für jedermann anschaulich und verständlich in einer Karte darzustellen (Schritt 6).

## Wie wird die Entscheidungsfindung unterstützt?

Das Beispiel zeigt, dass die Effektivität bzw. Effizienz an vielen Stellen im Entscheidungsprozess erhöht werden kann. Daraus wird ersichtlich, dass sich die Unterstützung des Gesamtprozesses der Entscheidungsfindung aus vielen Mosaiksteinen zusammensetzt.

Die Methodik zur Unterstützung der Entscheidungsfindung muss folgendes leisten:

- Sie bietet einen Rahmen, der sich an der Abfolge der Schritte im Entscheidungsprozess orientiert,
- Sie stellt Voraussetzungen bereit, um die einzelnen Arbeitsschritte möglichst effektiv und effizient durchführen zu können.

Bei der Formulierung einer Methodik ist zudem darauf zu achten, dass sie praxistauglich ist und von den Entscheidungsträgern bzw. den im Entscheidungsprozess aktiven Personen akzeptiert wird.

## 2.2. Organisation und Zuständigkeiten

Methodik und Vorgehensweise müssen auf die Aufgabenstellungen abgestimmt sein. Der Kontext *nachhaltige Entwicklung* bzw. *integrierte, einzugsgebietsbezogene Wasserwirtschaft* ist zwar bekannt, aber dennoch wird zur präziseren Verdeutlichung noch einmal kurz die Frage gestellt:

### Über was wird entschieden?

Das „Verbesserte Wasser- und Stoffstrommanagement...“ zielt auf die *Ausarbeitung mittel- bis langfristiger Strategien auf Einzugsgebietsebene* ab, mit denen die Anforderungen an nachhaltige Entwicklung und insbesondere durch die WRRL erfüllt werden. Zum Erreichen der Ziele kann eine Vielzahl konkreter Maßnahmen zur Anwendung kommen, wie z.B.

- Schutz von Gewässer und Grundwasser, indem Landwirte auf ausgewählten Flächen zu geänderter Bewirtschaftung motiviert werden
- Reduzierung der Belastung für das natürliche Gewässer aus Stadtentwässerung durch Kombination von „Entsiegelung“, Sanierung Kanalsystem und Ausbau Kläranlage
- Hochwasserschutz durch Freihalten von Flächen, dabei gleichzeitig „Renaturierung“ der Flussaue betreiben
- Gewährleistung der Wasserversorgung auf hohem Niveau durch effizientere Bewirtschaftung der Grundwasserreserven oder Substitution durch Brauchwasser
- u.v.m.

In vielen Fällen wirken sich Maßnahmen auf mehrere Aspekte des Wasserkreislaufs aus und überlagern sich zudem in räumlicher und zeitlicher Hinsicht.

Es gilt, Entscheidungen über die Wahl optimaler Maßnahmenkombinationen zu treffen.

In diesem Zusammenhang ist von größter Bedeutung, *wer die am Entscheidungsprozess teilnehmenden Personen sind*. Methodik und Vorgehensweise müssen darauf Bezug nehmen, welches Know-how diese Leute besitzen, und Hinweise enthalten, wie deren Organisation und Kommunikation stattfinden sollte.

## Wer ist an der Entscheidungsfindung beteiligt?

Generelle Zielsetzungen hinsichtlich des Zustandes eines wasserwirtschaftlichen Systems werden von der Gesellschaft in Persona des Gesetzgebers vorgegeben. Für das Treffen von umfassenden Entscheidungen sind letztendlich die verantwortlichen Behörden zuständig. In den Prozess der Entscheidungsfindung jedoch können und sollten sich alle Nutznießer und Betroffenen einbringen.

Der allgemeine Trend zur „Demokratisierung“ und zur Erhöhung der Transparenz und Akzeptanz bei der Umsetzung von EU-Recht spiegelt sich auch in Artikel 14 der WRRL

„... wichtig sind jedoch Information, Konsultation und Einbeziehung der Öffentlichkeit, einschließlich der Nutzer.“

Damit ist grundsätzlich die so genannte breite Öffentlichkeit gemeint, d.h. alle Einwohner in den Flussgebietseinheiten, die sich indes in Interessensgruppen wie Verbänden, Vereinen oder Initiativen organisieren und auf diese Weise Einfluss nehmen.

Die unterschiedlichen Formen der Öffentlichkeitsbeteiligung

- Zugang zu Hintergrundinformationen
- Aktive Beteiligung der Öffentlichkeit, insbesondere bei der Erstellung der Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme
- Festgeschriebene Anhörungen in verschiedenen Phasen des Planungsprozesses

schließen einander nicht aus, sie bauen auf einander auf: Anhörung schließt Information, aktive Beteiligung schließt Anhörung mit ein.

Die Beteiligung der Öffentlichkeit bringt auch für die verantwortlichen Behörden Vorteile mit sich

- Verbesserung des Prozesses der Entscheidungsfindung
- Frühzeitige Identifikation und Lösung von Interessenskonflikten
- Effektivere Flussgebietsplanung
- Nutzung der Erfahrungen und Kenntnisse der Wissensträger
- Verbesserung der Qualität der Maßnahmen
- Anregung eines konstruktiven Dialogs zwischen den Interessengruppen (Lernen neuer Sichtweisen)
- Erhöhung des Bewusstseins und des Engagements der Bürger für den Gewässerschutz

Mit der in den nachfolgenden Absätzen beschriebenen Einberufung eines Gewässerbeirats ist den Forderungen nach Beteiligung der Öffentlichkeit bereits zum wesentlichen Teil Rechnung getragen. Vertreter aus Verbänden, Organisationen etc. sind frühzeitig in die Entscheidungsfindung eingebunden und mittelbar an Entscheidungen beteiligt. Ebenso fließen Informationen in umgekehrter Richtung an die breite Öffentlichkeit, wenn die im Gewässerbeirat vertretenen Personen in ihren Interessengruppen und Verbänden berichten.

## Wie werden die Entscheidungsträger organisiert?

Auf Einzugsgebietsebene ist ein „parlamentarisches“ Gremium ins Leben zu rufen, in dem Vertreter sämtlicher Gruppen sitzen, die ein Interesse an der aktiven Gestaltung der Wasserwirtschaft haben und Einfluss auf die Entscheidungsfindung nehmen möchten. Für dieses Gremium wurde der Begriff „Gewässerbeirat“ gewählt. Der runde Tisch in Abbildung 7 symbolisiert das gleichberechtigte Nebeneinander der „Stakeholder“ (engl. Interessenvertreter, Anspruchsberechtigter) bzw. deren Repräsentanten.

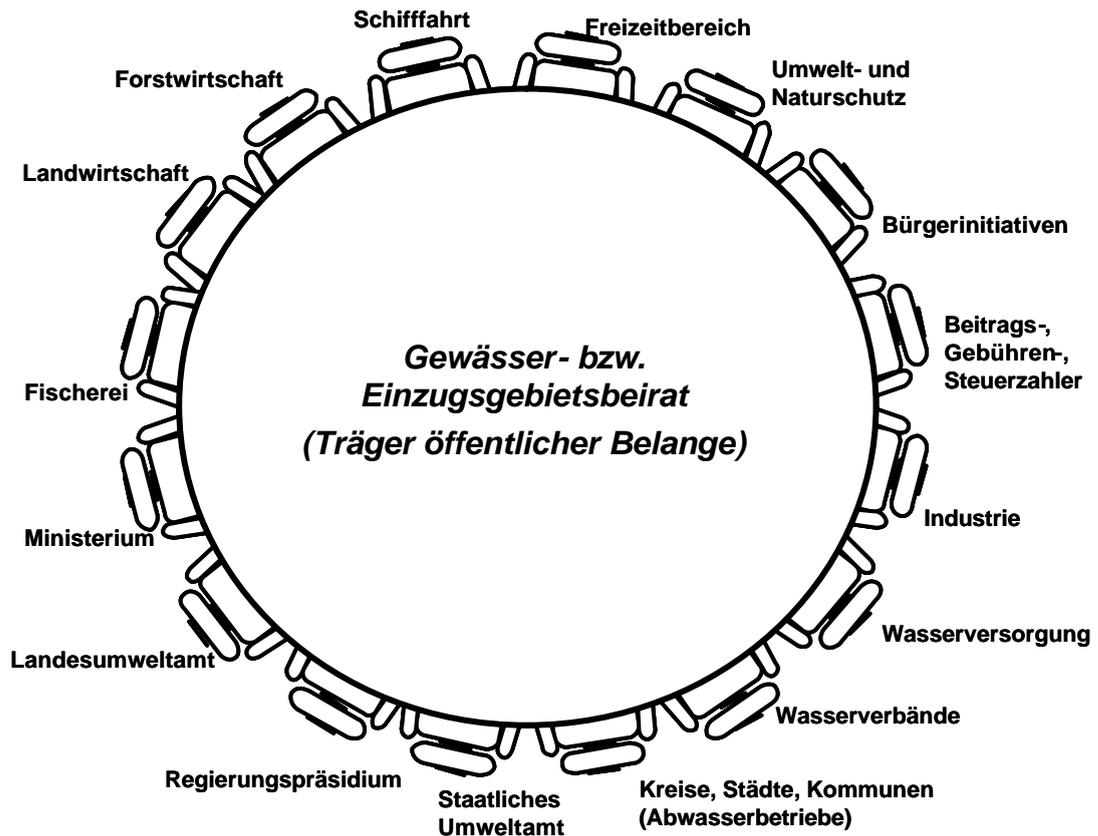


Abbildung 7: „Runder Tisch“ des Gewässerbeirats

Der Gewässerbeirat wird in der Regel keine unmittelbare Entscheidungsbefugnis besitzen, also nicht über die tatsächliche Umsetzung von Maßnahmen bestimmen. Im Gewässerbeirat werden Entscheidungen vorbereitet, indem unterschiedliche Alternativen entwickelt und geprüft werden. Es wird versucht, zwischen den verschiedenen Interessen einen Konsens zu finden. Damit die Arbeit des Gewässerbeirats Sinn macht, ist unbedingt Wert darauf zu legen, dass entscheidungsbefugte Personen mit am Tisch sitzen (z.B. Vertreter des zuständigen Staatlichen Umweltamtes) und die Erkenntnisse und Empfehlungen in ihrer Entscheidung berücksichtigen, indem z.B. eine Ablehnung zu begründen ist.

Bei der Strukturierung der Abläufe im Entscheidungsprozess wurde bereits im Anschluss an die Erläuterungen zu Abbildung 6 darauf hingewiesen, dass die *Durchführung der einzelnen Arbeitsschritte* mitunter sehr aufwendig ist und erhebliches Know-how erfordert. Die Analyse der Gegebenheiten im Einzugsgebiet und die Entwicklung wünschenswerter Handlungsalternativen stellt schließlich eine

überaus komplexe Aufgabe dar. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Mitglieder des Gewässerbeirats selbst diese Tätigkeiten durchführen können, um sich auf diese Weise die notwendigen Informationen zum Treffen einer Entscheidung zu beschaffen.

An dieser Stelle knüpft ein grundlegender Aspekt der Methodik zur Unterstützung der Entscheidungsfindung an. Der Gewässerbeirat muss erweitert werden um Personen, die sich in den komplexen Sachverhalten des Einzugsgebiets auskennen und entsprechende fachliche und technische Kenntnisse besitzen, um die Arbeitsschritte effektiv und effizient durchzuführen. Der Computer mit seiner Gesamtheit von Hard- und Software stellt dabei das elementare „Werkzeug“ der Experten dar, damit diese die notwendigen Informationen auf angemessene Weise sowohl er- als auch vermitteln können.

Abbildung 8 verdeutlicht die erweiterte Struktur des Gewässerbeirats.

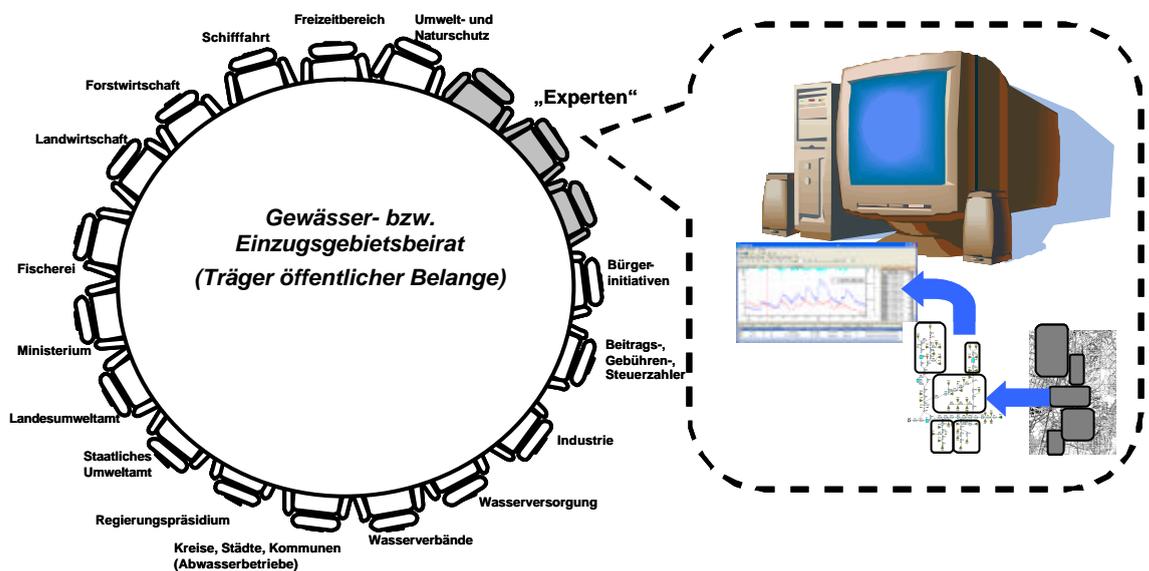


Abbildung 8: Gewässerbeirat (erweitert um fachlich-technische Unterstützung)

## 2.3. Bestandsaufnahme

In der Entscheidungsfindung müssen Fragen beantwortet werden wie z.B. „Wo besteht Handlungsbedarf? Was sind die Ursachen für Missstände? Wie kann man diesen begegnen? Warum soll gerade die vorgeschlagene Maßnahmenkombination eingesetzt werden und nicht eine andere?“

Das ist ohne profunde Kenntnis der Gegebenheiten im Einzugsgebiet nicht möglich.

Eben zu diesem Zweck stand z.B. auch in der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie die *Bestandsaufnahme* an erster Stelle (Abbildung 1), in der die Charakterisierung und Typisierung der Gewässer vorgenommen sowie die vorhandenen Belastungen der Gewässer erfasst und ihre Wirkung auf deren Zustand abgeschätzt wurden. Die Ergebnisse in Deutschland hat das *Umweltbundesamt* in einer Broschüre [UBA2004] übersichtlich zusammengefasst.

Im vorliegenden Kontext ist das Ziel der Bestandsaufnahme, die oben genannte „profunde Kenntnis“ zur Situation im Einzugsgebiet zu erlangen und damit die Voraussetzungen für die Arbeit des Gewässerbeirats zu schaffen. Man muss dabei zunächst einmal unterscheiden zwischen

- der Kenntnis der Mitglieder des Gewässerbeirats und
- der Kenntnis der Experten, die die Arbeit des Gewässerbeirats unterstützen.

Während die Mitglieder auf Basis von Informationen, die die Experten liefern, ihre Einschätzung der Lage vornehmen und ihre Entscheidungen treffen, benötigen diese das Rüstzeug, um diese Informationen erst einmal ermitteln und bereitstellen können. Schließlich handelt es sich nicht selten um Prognosewerte, die mit Hilfe komplizierter Berechnungen und Simulationen abgeschätzt werden müssen.

Eine weitere Unterscheidung gilt es zu treffen bei der Expertenkenntnis. Diese beinhaltet zum einen

- die Kenntnis der wasserwirtschaftlichen Situation und den physikalischen und organisatorischen Gegebenheiten im Einzugsgebiet selbst und zum anderen
- die Kenntnis über das oben angesprochene „Rüstzeug“, d.h. die Voraussetzungen, um analysieren und planen zu können.

### Was beinhaltet die Bestandsaufnahme in WSM300?

Die WSM300-Bestandsaufnahme bezieht sich auf den Aspekt des „Rüstzeugs“ und ist ausgerichtet auf die *Verfügbarkeit von Daten und Werkzeugen*, damit die Experten diese anspruchsvolle Unterstützungsarbeit leisten und auf die Anfragen aus dem Gewässerbeirat reagieren können. Hierbei kann nochmals eine Differenzierung vorgenommen werden zwischen

- der *allgemeinen* Kenntnis über derartige Grundlagen und Voraussetzungen, die unabhängig vom Einzugsgebiet bestehen (z.B. welche Simulationsmodelle zur Anwendung kommen könnten oder welche gesetzlichen Regelungen für das Bundesland bestehen), und
- den *speziellen* Voraussetzungen für das Einzugsgebiet, wenn z.B. die Profile der Fließgewässer in einem Informationssystem gespeichert sind oder ein Niederschlag-Abfluss-Modell existiert.

Die Experten müssen in beiden Kategorien „firm“ sein und dafür Sorge tragen, dass sie einen Überblick haben über

- Physikalische Daten zum Einzugsgebiet (Höhenmodelle, Gewässerprofile, Kanalsysteme, Messwerte,...)
- Allgemeine Daten (Zuständigkeiten, Konzessionen, Rechtsgrundlagen, ...)
- Modelle, Ergebnisse aus Untersuchungen, Gutachten
- Metadaten (Formate, Quellen, Konzepte)
- u.a.

Der Begriff „Überblick haben“ wurde mit Absicht gewählt, denn Bestandsaufnahme kann aufgrund der Vielfalt der Datenquellen und praktischen Schwierigkeiten hinsichtlich des Bezugs von Daten nicht bedeuten, dass sie als solche für den Gewässerbeirat „zusammengetragen“ werden. Gewiss wird auch im Gewässerbeirat ein gewisser Datenbestand angesammelt werden, aber es muss vielmehr so sein, dass erforderliche Daten zu einem gegebenen Zeitpunkt zur Verfügung stehen können, wobei in vielen Fällen die bloße Sicht auf diese Daten ausreicht. Durch den bedarfsgerechten Bezug der Daten von den zuständigen Stellen wird zudem gewährleistet, dass diese stets den (maximal möglichen) Anforderungen an Vollständigkeit und Korrektheit genügen und die aktuelle Situation im Einzugsgebiet inklusive z.B. durchgeführter Maßnahmen oder neu hinzugekommener Messungen darstellen. Der Bestand an Daten zum Einzugsgebiet wächst ständig an, wozu u.a. auch die Arbeiten im Gewässerbeirat beitragen.

Im Hinblick auf eine gegebene Aufgabenstellung muss der Experte demgemäß einschätzen können, ob und wie die notwendigen Informationen beschafft werden können, welcher Aufwand damit verbunden ist und welche Abstriche eventuell gemacht werden müssen. Mitunter können Fachleute diesbezügliche Aussagen allein aufgrund ihrer Erfahrungen und Kenntnisse machen. Sie wissen, welche Daten es gibt, wie auf diese zugegriffen werden kann, welches Modell zur Verfügung steht, welche Gutachten bereits getätigt wurden usw. Aber nicht jeder ist auf Anhieb ein Experte, und auch diese dürften gemäß der Vielzahl von zu untersuchenden Aspekten niemals einen kompletten Überblick besitzen, so dass in vielen Fällen umfangreiche Recherchen durchzuführen sind.

Für die Unterstützung der Tätigkeiten im Gewässerbeirat muss ein wesentlicher Zweck der Bestandsaufnahme darin bestehen, das Wissen um derartige Informationen zu strukturieren, damit Recherchen mit überschaubarem Aufwand durchgeführt werden können und zufrieden stellende Ergebnisse liefern. Dieser Katalog von *Metadaten*, d.h. Daten, die Informationen zu anderen Daten enthalten, muss Auskunft darüber geben, wo es welche Daten gibt.

Darüber hinaus gilt es, einen *Fundus an Simulationsmodellen* zur Verfügung stehen zu haben, damit die Auswirkungen von Maßnahmen abgeschätzt werden können (siehe 2.7.1).

Auch bei Vorliegen einer derartigen umfassenden Übersicht über die prinzipiell zur Verfügung stehenden Daten, Modelle, Regelungen uv.m. bedarf es hinsichtlich der zu ermittelnden Information dennoch des zusätzlichen Know-hows eines Fachmanns, der im jeweiligen Fall einschätzen kann, ob die Information überhaupt in der gewünschten Form ermittelt werden kann, welcher Aufwand damit verbunden ist und welche konkreten Ergebnisse zu erwarten sind.

## 2.4. Prinzip „Entscheidungsmatrix“

Ausgehend vom Gewässerbeirat und der ausreichenden Kenntnis der Situation im Einzugsgebiet geht es nun daran, einen methodischen Rahmen für den prinzipiellen Ablauf der Entscheidungsfindung (Abbildung 6) zu formulieren. Die Entscheidung besteht schlussendlich darin, ein Maßnahmenprogramm zu verabschieden. Im ersten Schritt muss man sich auf konkrete Ziele einigen, die nicht selten im Widerspruch zueinander stehen. Im zweiten Schritt sind geeignete Varianten vorzuschlagen, damit diese Ziele erreicht werden. Deren jeweilige Vor- und Nachteile sind jedoch nicht ohne genauere Untersuchungen einzuschätzen. Und schließlich muss man sich noch auf eine Erfolg versprechende Variante einigen.

Dieser ganze Vorgang erscheint angesichts der heterogenen Zusammensetzung im Gewässerbeirat durch Personen mit unterschiedlichem „Background“ ein schwieriges Unterfangen, das mit Hilfe der Entscheidungsmatrix systematisch unterstützt wird. Abbildung 9 gibt ein Beispiel für die Strukturierung von Informationen, die beim Kauf einer Digitalkamera die Entscheidung erleichtern sollen.

Digitalkameras: Zoom ab fünffach (gut)							
		Konica Minolta Dimage A200	Nikon Coolpix 8800	Olympus Camedia C-55 Zoom	Konica Minolta Dimage Z20	Nikon Coolpix 48003	Panasonic Lumix DMC-FZ33
Mittlerer Preis in Euro ca.		655	925	325	259	380	390
<b>test-QUALITÄTSURTEIL</b>	100 %	GUT (2,1)	GUT (2,1)	GUT (2,1)	GUT (2,2)	GUT (2,2)	GUT (2,2)
<b>BILDQUALITÄT</b>	30 %	gut (2,3)	gut (2,0)	gut (2,4)	gut (2,1)	gut (2,2)	befriedigend (2,6)
Sehtest		○	+	+	○	+	○
Messungen		+	+	+	+	+	○
Autofokus		+	+	+	+	++	+
<b>VIDEOSSEQUENZEN</b>	3 %	befriedigend (2,8)	befriedigend (3,0)	befriedigend (3,2)	befriedigend (3,2)	ausreichend (3,8)	befriedigend (2,7)
<b>BLITZ</b>	8 %	befriedigend (3,3)	gut (1,9)	sehr gut (1,3)	gut (1,6)	gut (1,7)	gut (2,2)
<b>SUCHER UND MONITOR</b>	12 %	gut (2,5)	gut (2,1)	befriedigend (2,8)	befriedigend (3,0)	befriedigend (2,7)	gut (2,5)
Sucher		○	+	○	○	○	+
Monitor		+	+	+	○	+	+
<b>HANDHABUNG</b>	25 %	gut (2,2)	befriedigend (3,0)	gut (2,1)	gut (2,3)	befriedigend (2,6)	gut (2,3)
Gebrauchsanleitung		○	+	+	○	+	+
Aufnahme und Datenübertragung		+	○	+	+	○	+
Batteriewechsel und Ladekontrolle		○	○	○	○	○	+
<b>BETRIEBSDAUER</b>	10 %	sehr gut (0,5)	sehr gut (1,4)	sehr gut (0,5)	sehr gut (0,5)	sehr gut (0,5)	sehr gut (0,6)
<b>VIELSEITIGKEIT</b>	12 %	gut (1,6)	sehr gut (1,1)	gut (1,9)	befriedigend (2,6)	gut (2,2)	gut (2,1)
<b>AUSSTATTUNG/TECHNISCHE MERKMALE</b>							
Breite x Höhe x Tiefe in cm		11,5 x 8,5 x 12,5	12 x 9 x 13	11 x 7 x 5,5	11,5 x 8,5 x 11	12 x 7 x 6	12 x 7 x 9,5
Gewicht betriebsbereit in g		692	726	367	435	320	353
Max. Auflösung in Megapixel/Bildstabilisator		8,0 / ja	8,0 / ja	5,0 / nein	4,9 / nein	3,9 / nein	3,0 / ja
Kalstart / Auslöseverzögerung mit AF in s		3,9 / 0,4	4,8 / 1,1	2,3 / 0,4	2,0 / 0,4	6,1 / 0,7	4,2 / 0,6
Normierte Brennweiten (gemessen, Zoomfaktor) 1)		0,58 – 3,5 (6)	0,7 – 5,0 (8)	0,77 – 3,5 (5)	0,76 – 5,5 (7)	0,75 – 5,1 (7)	0,7 – 6,9 (10)
Größe Objektivblenden		2,8 – 3,5	2,8 – 5,2	2,8 – 4,8	3,2 – 3,4	2,7 – 4,4	2,8
Zeit- und Blendenwahl / manueller Fokus		ja / ja	ja / ja	ja/ja	ja / ja	nein / nein	ja / nein
Belichtungszeiten in s		1 / 1 600–15+B	1 / 3000–8 <sup>2)</sup>	1/2000–15	1/2000–4	1 / 2 000–4	1 / 2 000–8
Belichtungskorrekturstufen in EV		-2 bis +2	-2,0 bis +2,0	-2 bis +2	-2 bis +2	-2 bis +2	-2,0 bis +2,0
Manueller Weißabgleich / Vorgaben		ja / 7	ja / 8	ja/6	ja / 5	ja / 5	ja / 4
Kleinster Aufnahmebereich in cm x cm		5,1 x 3,8	6,2 x 4,5	3,3 x 2,4	2,3 x 1,6	2,7 x 2,0	4,1 x 3,0
Einstellbare Empfindlichkeit in ISO		50 – 800	50–400	80–400	50–320	50 – 400	80–400
Sucher		LCD	LCD	Optisch	LCD	LCD	LCD
Monitorgröße in mm (Auflösung in Kilopixel)		36 x 27 (134)	36 x 27 (134)	39 x 29 (114)	29 x 22 (113)	36 x 27 (118)	30 x 23 (114)
Blitzschuh / Hilfslicht für AF		ja / nein	ja / ja	nein / ja	nein / nein	nein / ja	nein / ja
Speichermedien (Größe mitgeliefert) / interner Bilddaten speicher in MB		CF I + II (0) / nein	CF I oder II (0) / nein	xD (16) / nein	SD (0) / 14,5	SD (0) / 13,5	SD (16) / nein
Videossequenzen höchste Auflösung (Länge in s) / mit Ton		800 x 600 (900) / ja	640 x 480 (60) / ja	320 x 240 (23) / ja	640 x 480 (27) / nein	640 x 480 (24) / ja	320 x 240 (25) / ja
Tonaufzeichnung zum Bild / TV-Ausgang		nein / ja	ja / ja	ja / ja	nein / ja	ja / ja	ja / ja
Bildbearbeitungssoftware		ja	ja	ja	ja	ja	ja
Anzahl und Art der mitgelieferten Batterien		Li-Ion	1 x Li-Ion	4 AA	4 AA Alkaline	Li-Ion	1 x Li-Ion
Netzteil / Ladegerät im Lieferumfang		optional / ja	optional / ja	optional / nein	optional / nein	optional / ja	optional / ja

**Bewertungsschlüssel der Prüfergebnisse:**  
 ++ = Sehr gut (0,5–1,5), + = Gut (1,6–2,5), ○ = Befriedigend (2,6–3,5), ⊖ = Ausreichend (3,6–4,5), = = Mangelhaft (4,6–5,5).  
 Reihenfolge: Bei gleichem Qualitätsurteil nach Alphabet.

1) Die normierte Brennweite von 1 entspricht dem normalen Blickwinkel (bezogen auf Kleinbild: 50 mm Brennweite). Werte unter 1 gleich Weitwinkel (Beispiel Konica Minolta Dimage A200 mit 0,58; entspricht 29 mm Brennweite), über 1 gleich Telebereich (Beispiel Panasonic Lumix DMC-FZ20 mit 8,7; entspricht 435 mm).  
 2) Belichtungszeit mit „B“ bis 10 Minuten möglich. 3) Nur noch Restbestände.

Quelle: Stiftung Warentest Online – Digitalkameras Alle Modelle 2005

Abbildung 9: Entscheidungsmatrix für Digitalkameras

Die Ergebnisse umfangreicher technischer Tests sind aufgelistet und mit Qualitätsbezeichnungen versehen. Es muss dem Leser bewusst sein, dass die Darstellung sämtlicher auf dem Markt verfügbarer Kameras eine enorme Breite dieser Matrix bedingen würde. Dieser Umfang wurde hier durch die Kategorisierung „Zoom ab fünffach“ reduziert. Dennoch erstreckt sich die Liste über mehrere Seiten. Ein weiteres Beispiel für die Unterstützung einer Kaufentscheidung durch die übersichtliche Auflistung der Qualitäten konkurrierender Produkte zeigt Abbildung 10.

Test 03/2006

**Sommerreifen 185/60 R14 H**

Reifenmodell	Preis in EUR	Trocken	Nass	Geräusch	Rollwiderstand	Verschleiss	ADAC-Urteil
<u>Bridgestone Turanza ER300</u>	51 bis 73	1,2	1,9	1,9	3,0	2,2	<b>besonders empfehlenswert</b>
<u>Pirelli P6</u>	54 bis 75	1,7	2,0	2,9	3,0	2,3	<b>besonders empfehlenswert</b>
<u>Maloya Futura Primato</u>	40 bis 54	2,2	2,2	2,8	3,0	1,6	<b>empfehlenswert</b>
<u>Goodyear Excellence</u>	51 bis 55	1,7	2,2	2,1	3,0	2,7	<b>empfehlenswert</b>
<u>Hokian HRHi</u>	53 bis 73	2,0	2,4	2,7	2,7	2,1	<b>empfehlenswert</b>
<u>Vredestein Hi-Trac</u>	46 bis 72	2,4	2,2	3,2	3,0	1,8	<b>empfehlenswert</b>
<u>Dunlop SP Sport 01</u>	52 bis 76	1,7	2,4	2,3	2,7	2,7	<b>empfehlenswert</b>
<u>Hankook Optimo K415</u>	40 bis 58	2,0	2,2	2,3	3,0	2,5	<b>empfehlenswert</b>
<u>Firestone Firehawk TZ200</u>	45 bis 64	1,9	2,4	2,0	3,0	2,6	<b>empfehlenswert</b>
<u>Continental EcoContact 3</u>	54 bis 73	1,7	2,3	2,2	2,7	3,1	<b>empfehlenswert</b>
<u>Kumho Solus KH15</u>	39 bis 54	1,9	2,7	2,2	3,0	2,2	<b>empfehlenswert</b>
<u>Uniroyal rallye 550</u>	45 bis 68	2,1	2,4	2,3	3,0	2,8	<b>empfehlenswert</b>
<u>Kleber Dynaxer HP 2</u>	48 bis 68	1,7	3,2	2,5	2,7	1,0	<b>bedingt empfehlenswert</b>
<u>Yokohama A-Drive</u>	48 bis 68	2,0	3,2	2,9	2,7	1,8	<b>bedingt empfehlenswert</b>
<u>Semperit Speedcomfort</u>	41 bis 65	2,3	3,2	2,8	3,0	1,7	<b>bedingt empfehlenswert</b>
<u>Barum Bravuris</u>	42 bis 60	2,7	2,8	2,7	2,7	2,5	<b>bedingt empfehlenswert</b>
<u>Pneumant PH550</u>	39 bis 59	1,7	3,4	2,7	2,7	2,7	<b>bedingt empfehlenswert</b>
<u>BFGoodrich Profiler 2</u>	51 bis 72	1,3	3,6	2,5	3,0	0,5	<b>nicht empfehlenswert</b>

Notenskala von 1 (sehr gut) bis 5 (mangelhaft)

Quelle: ADAC Test 03/2006 Sommerreifen 185/60 R14 H“

Abbildung 10: Entscheidungsmatrix für Sommerreifen

Hier ist zu beachten, dass die Zielkriterien in den Spalten und die Varianten in den Zeilen aufgeführt sind. Auf physikalische Detailangaben zu den Produkten wurde in dieser Übersicht verzichtet. Im Testbericht ist nachzulesen, wie sich die „Schulnoten“ zusammensetzen.

Die Essenz der Untersuchungen besteht in einem Qualitätsurteil, dass dem Kunden die Wahl des besten Modells erleichtern soll. In beiden Beispielen wurde der Preis als separates Attribut für den Leser aufgeführt, das er individuell in seine Kaufentscheidung berücksichtigen kann.

Eine derartige Matrix stellt die geeignete Darstellung von relevanten Informationen für die Entscheidungsfindung dar. Ihr sukzessiver Aufbau bildet die ersten drei der vier typischen Arbeitsschritte ab, die generell bei der Entscheidungsfindung und somit auch im Rahmen eines wasserwirtschaftlichen Planungsprozesses auftreten (Tabelle 1 und Abbildung 11).

Tabelle 1: Schritte im Planungsprozess

Nr.	Schritt im Planungsprozess	Entwicklung der Entscheidungsmatrix
1	Diskussion und Festlegung der Zielvariablen	Definition der Zeilen der Matrix
2	Entwicklung von Szenarien	Hinzufügen von Spalten
3	Ermittlung der Fakten	Ausfüllen der Zellen
4	Bewertung und Entscheidungsfindung	Multikriterielle Analyse

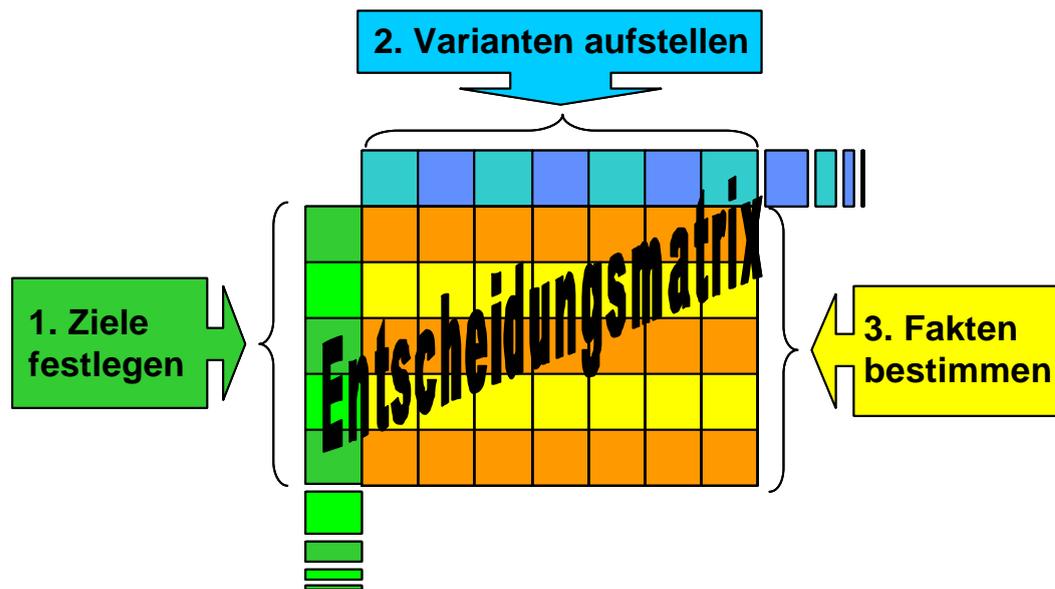


Abbildung 11: Entscheidungsmatrix (Prinzip)

Diese Schritte werden in den nachfolgenden Kapiteln ausführlich erläutert.

Eine übersichtliche Aufgabenstellung aus der Wasserwirtschaft demonstriert jeweils zum Ende eines Kapitels die Anwendung dieser Methodik.

## 2.5. Ziele festlegen

Der Begriff *Ziel* bezeichnet einen

in der Zukunft liegenden, gegenüber dem Gegenwärtigen im Allgemeinen veränderten, erstrebenswerten und angestrebten Zustand.

Dieser erstrebenswerte Zustand muss in irgendeiner Form charakterisiert werden. Oberstes Ziel der WRRL ist z.B. der „gute Zustand“ der Gewässer.

Hierdurch wird bereits zum Ausdruck gebracht, dass die Diskussion im Einzugsgebiet zunächst eine Menge von Zielen hervorbringen wird, die sehr allgemein formuliert sind, wie z.B. „gute Wasserqualität“, „Hochwasserschutz“, „Sicherheit der Trinkwassergewinnung“, „Entwässerungskomfort“ u.a.

### Wie werden die abstrakten Ziele beschrieben?

Um später verschiedene Maßnahmen bezüglich der Ziele vergleichen zu können, muss festgestellt werden können, ob und wie gut diese Ziele erreicht wurden. Die übergeordneten, allgemein und „unpräzise“ formulierten Ziele müssen durch konkrete *Zielvariablen* repräsentiert werden, die den Erfolg oder Misserfolg der Maßnahmen *messbar* machen.

Eine Zielvariable ist eine Variable, deren Wert einen Zustand charakterisiert und quantifiziert werden kann.

So kann z.B. das Ziel *Hochwasserschutz* durch die Zielvariable „HQ<sub>50</sub>“ repräsentiert werden. Das Ziel *Vermeidung von Eutrophierung* kann durch die Zielvariable „Jährliche P-Fracht“ beschrieben werden. Deren Werte können für unterschiedliche Maßnahmenszenarien berechnet werden.

Für jede Zielvariable werden *Zielvorgaben* in Gestalt konkreter Zahlenwerte getätigt. Die Abweichung des gemessenen oder prognostizierten Wertes der Zielvariablen von der Zielvorgabe bildet die Grundlage für die Aussage, wie gut das Ziel erreicht wurde, und geht somit in eine *Bewertung* ein. Die „Qualität“ eines Maßnahmenprogramms ergibt sich aus dem Grad der Erfüllung der Zielvorgaben. Auf diese Weise ist es möglich, unterschiedliche Maßnahmenszenarien bezüglich der genannten Ziele zu vergleichen.

Bei der Spezifikation von Zielen ist zu beachten, dass diese in unterschiedlichen Beziehungen zueinander stehen können [Laux2003]:

- *Zielindifferenz* (Zielneutralität): Die Erreichung des einen Ziels wird durch das andere Ziel nicht beeinflusst.
- *Zielkomplementarität*: Die Erreichung des einen Ziels erleichtert die Erreichung des anderen Ziels. (Beispiel: Wenn Ziel 1 ist, möglichst gut Englisch zu können und Ziel 2 ist, möglichst viel Urlaub in England zu verbringen, dann verbessert eine hohe Erreichung des Ziels 2 automatisch die Zielerreichung bei Ziel 1)
- *Zielkonflikte* (Zielkonkurrenz): Die Erreichung von Ziel 1 wirkt sich negativ auf das Ziel 2 aus. (Beispiel „Geld verdienen und Freizeit“: Je mehr Freizeit man haben will, desto weniger kann man arbeiten, desto weniger Geld verdient man.)

Die eigentlich problematische Situation entsteht, wenn Ziele im Konflikt zueinander stehen. Das ist in der Realität fast immer der Fall, da die Minimierung des Aufwands zum Erreichen der Ziele in der Regel ebenfalls eine Zielvorgabe darstellt.

Die Identifikation der besten Lösungen bei Vorgabe mehrerer Ziele wird im Kapitel 2.8 behandelt.

### Welche Zielvariablen kann es geben?

Die Menge und Ausprägung von möglichen Zielvariablen hinsichtlich der Beschreibung des Zustandes eines Einzugsgebiets ist überaus komplex.

Beispielsweise führt die Wasserrahmenrichtlinie zur Betonung des Schutzes der Gewässer vor Schadstoffen den mindestens „guten chemischen Zustand“ als konkretes Umweltziel ein. Dabei heißt es in Anhang V unter 1.4.3, dass der gute chemische Zustand erreicht ist, wenn alle Umweltqualitätsnormen

- des Anhangs IX (18 Stoffe, EU-weit geregelt in den Tochterrichtlinien zur RL76/464/EWG „gefährliche Stoffe“),
- der 33 prioritären Stoffe nach Art. 16 bzw. Anhang X und
- aller anderen einschlägigen Rechtsvorschriften der Gemeinschaft, in denen Umweltqualitätsnormen festgelegt sind

erfüllt werden {EUWRRL}. Gemäß diesen Vorgaben sind diverse Umweltqualitätsnormen zu beachten. Insbesondere sind bei den früheren Gewässerschutzrichtlinien die dort angegebenen Randbedingungen zu berücksichtigen. Im Überblick ergeben sich folgende Umweltqualitätsnormen:

- für 18 Stoffe nach Liste I der RL 76/464/EWG (Tocherrichtlinien)
- gemäß Nitratrichtlinie (91/676/EWG): 50 mg NO<sub>3</sub>/l
- die Anforderungen der Fischgewässerrichtlinie (78/659/EWG) werden ab 2007 durch die biologische Überwachung der Fischfauna ersetzt.
- die Anforderungen der RL Oberflächengewässer zur Trinkwassergewinnung (75/440/EWG) werden ab 2007 durch die Umweltqualitätsnormen für den ökologischen Status, die auch die Anforderungen der Trinkwassergewinnung abdecken, ersetzt.

Hieraus ergeben sich Vorgaben für sehr viele messbare Größen (z.B. Sauerstoffgehalt, Stoffkonzentrationen), die zudem noch in ihrer räumlichen und zeitlichen Dimension zu erfassen sind.

An dieser Stelle muss festgestellt werden, dass *Zielvariablen* entgegen der Definition von *Ziel* natürlich nicht ausschließlich zur Beurteilung *zukünftiger* Umweltzustände herangezogen werden, sondern generell als Charakterisierung herangezogen werden. Möglicherweise ergeben ja die Messungen und Beobachtungen, dass der angestrebte „gute Zustand der Gewässer“ bereits gegeben ist.

Abbildung 12 verdeutlicht das Prinzip, wie aus den übergeordneten *allgemeinen Zielen*, die in der WRRL und in weiteren zahlreichen gesetzlichen Vorgaben gefordert werden, die *Zielvariablen* abzuleiten sind. Nach diesem Prinzip wurde auch im Rahmen dieses Projektes bei der Erstellung des Zielvariablenkatalogs (siehe Anhang) vorgegangen.

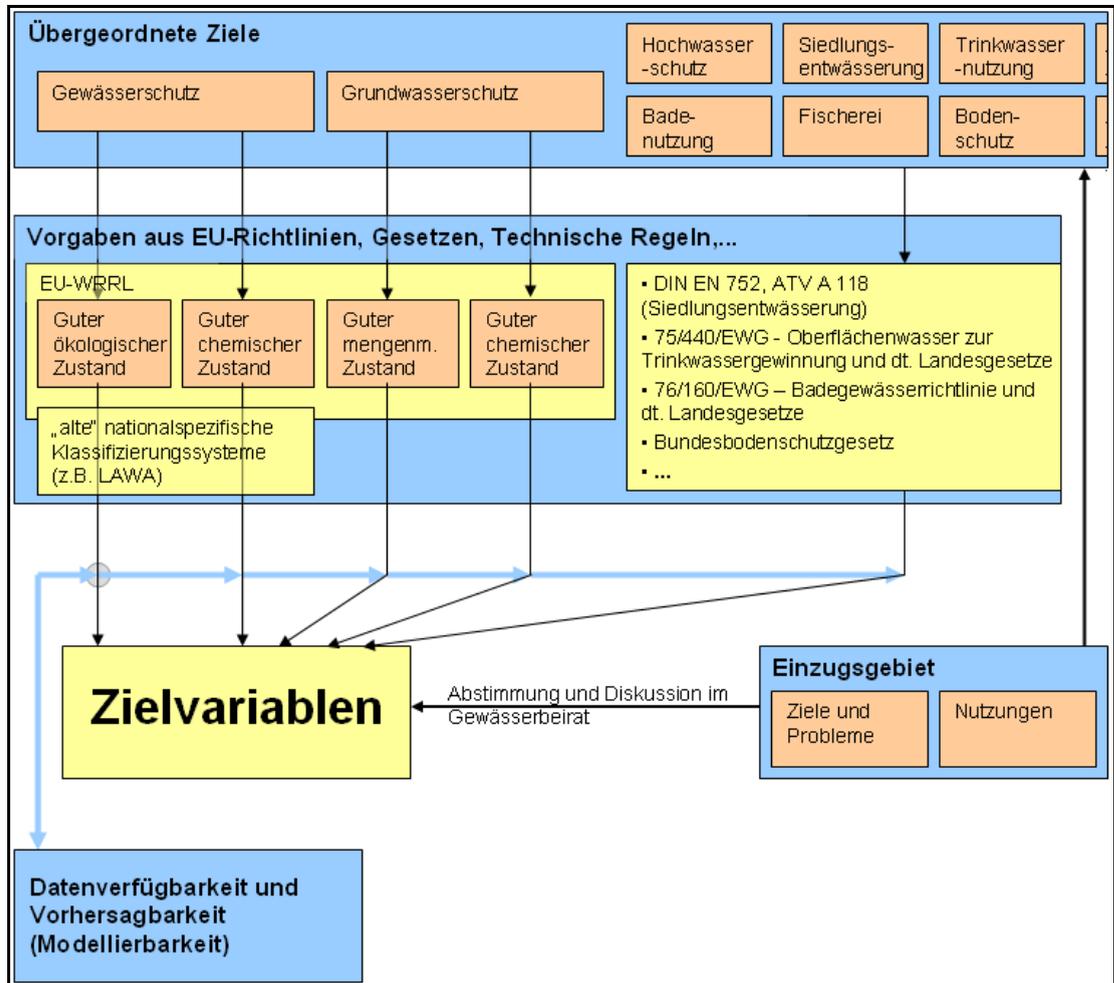
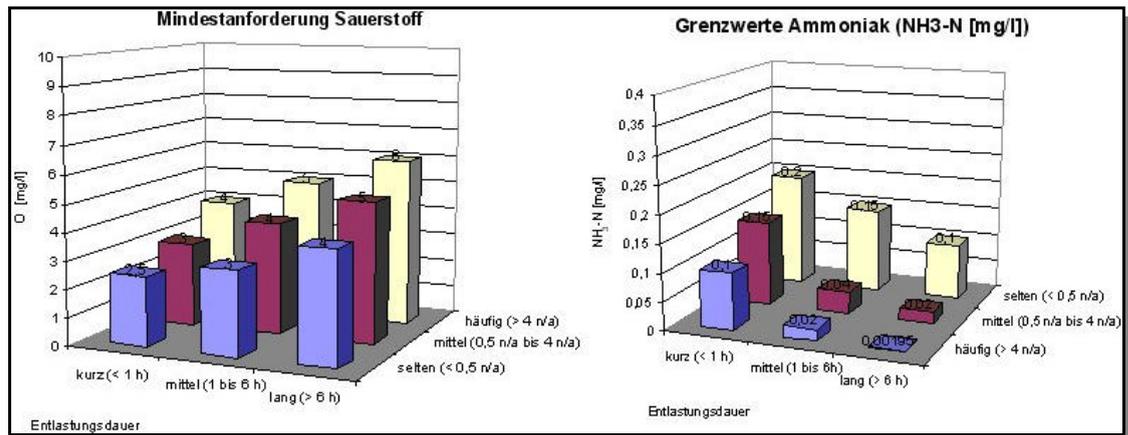


Abbildung 12: Von Zielen zu Zielvariablen

Zielvariablen stellen in vielen Fällen *Kenngrößen* oder *Indikatoren* dar, die das dynamische Verhalten ausgewählter Prozesse des Einzugsgebiets charakterisieren, z.B. den Abfluss. In der Regel werden hierfür gewisse Wertebereiche vorgegeben, innerhalb derer kein Schaden zu befürchten ist. Beispielsweise ist im Sinne des Hochwasserschutzes gewünscht, dass der Abfluss einer vorgegebenen Jährlichkeit ( $HQ_T$ ) einen definierten Wert nicht überschreitet. Die Bestimmung dieses Wertes erfordert die statistische Auswertung der Abflussganglinie.

Es muss bewusst sein, dass die Berechnung von Zielvariablen oft komplizierte Auswertungen von Zeitreihen oder die Aggregation und Transformation mehrerer Werte erfordert. Das trifft bereits für die Charakterisierung des Ist-Zustandes auf Basis gemessener Größen zu und ist umso mehr der Fall, wenn die Wirkungen von Maßnahmenprogrammen mit Hilfe von mathematischen Modellen und Computersimulation abgeschätzt werden müssen (siehe Kapitel 2.7.1).

Ein Beispiel für eine komplexe Zielvariable stellt die 9er-Matrix dar (Abbildung 13). Diese beschreibt wesentliche Anforderungen (Ziele), die „immissionsbezogen“, d.h. aus Sicht des empfangenden Gewässers, an die Stadtentwässerung gestellt wird (siehe [BWKM3] bzw. [BWKM3Leit]). Hierbei stellt sich unwillkürlich die Frage, wie eine Zielvariable in dieser Gestalt in die Entscheidungsmatrix einfließen kann. Eine Möglichkeit kann darin bestehen, die neun Werte als „Cluster“ zusammenzufassen und mit einer „Schulnote“ zu versehen. Die konkrete Vorgehensweise ist im Gremium der Entscheider von Fall zu Fall zu vereinbaren.



Quelle: [BWKM3Leit]

Abbildung 13: Komplexe Zielvariable „9er-Matrix“

Der *Preis* für die Maßnahmen, der im Grunde immer in die Entscheidungsfindung einfließen dürfte, stellt auf den ersten Blick eine relativ einfach zu bestimmende Größe dar. Allerdings setzt dieser sich oft aus Investitions- und Betriebskosten zusammen und sollte außerdem Kosten durch Schädigung der Umwelt beinhalten. Darüber hinaus ist von Belang, wann die Ausgaben getätigt werden und welcher Zinssatz zur Berechnung der *Barwerte* angesetzt wird, ohne die ein Vergleich der Ausgaben nur bedingt möglich ist.

Ein überaus wichtiges Produkt des Projektes WSM300 ist der Zielvariablenkatalog, der eine elementare Grundlage für die Arbeit im Gewässerbeirat darstellt, wenn die konkrete Beurteilung des Erfolgs einer Maßnahmenkombination erfolgen soll. Der Katalog bildet die Basis für die systematische Beschreibung der Ziele bzw. Zielvariablen in der Entscheidungsmatrix (siehe Anlage).

### Wer legt welche Ziele fest?

Die Absicht des Gewässerbeirats ist die Aufstellung einer günstigen Strategie für die Wasserwirtschaft im Einzugsgebiet. Wie bereits erwähnt bestehen hierfür gesetzliche Vorgaben und Randbedingungen, die es (z.B. im Hinblick auf die chemische Belastung) einzuhalten gilt. Auf diese Weise werden bereits einige Zielvariablen mit den entsprechenden Zielvorgaben quasi implizit gefordert.

Im Grunde werden stets auch die Kosten für ein Maßnahmenprogramm in die Beurteilung von dessen Qualität eingehen. Erfordert ein Maßnahmenprogramm höhere Investitionen, stehen diese der

„Volkswirtschaft“ an anderer Stelle nicht zur Verfügung, so dass deren Minimierung ebenfalls eine Zielvorgabe darstellen dürfte. Auch die WRRL nimmt dazu explizit in Anhang III Stellung:

Die wirtschaftliche Analyse muss (unter Berücksichtigung der Kosten für die Erhebung der betreffenden Daten) genügend Informationen in ausreichender Detailliertheit enthalten, damit ... die in Bezug auf die Wassernutzung kosteneffizientesten Kombinationen der in das Maßnahmenprogramm nach Artikel 11 aufzunehmenden Maßnahmen auf der Grundlage von Schätzungen ihrer potentiellen Kosten beurteilt werden können.

Welche Zielvariablen jedoch für eine konkrete Untersuchung und als Grundlage für die Beurteilung der Wirksamkeit eines Maßnahmenprogramms herangezogen werden, liegt voll und ganz im Ermessen der Personen im Gewässerbeirat. Es muss gestattet sein, für derartige Analysen die Zielvorgaben und den Bewertungsalgorithmus frei zu wählen. Gegebenenfalls ist die Zulässigkeit einer durch die Untersuchungen favorisierte Variante durch die Analyse weiterer Zustandsgrößen nachzuweisen.

Im Hinblick auf die Festlegung von Zielvariablen ist allerdings zu bemerken, dass es keinen Sinn macht, Variablen festzulegen, die nicht berechnet werden können. Gerade biologisch motivierte Zustandsgrößen (z.B. die Anzahl der Laufkäfer pro Flächeneinheit) lassen sich nach dem heutigen Stand der Modelltechnik nicht zuverlässig abschätzen (2.7.1). Hierfür werden in aller Regel chemisch-physikalische Ersatzgrößen gewählt, deren voraussichtlichen Verlauf man simulieren kann und die eine entsprechend positive Entwicklung der Ökologie erwarten lassen.

Verständlichkeit und die Übersichtlichkeit machen es notwendig, die Anzahl der Zielvariablen zu beschränken. Hierzu ist Expertenwissen zu den kritischen und maßgeblichen Stellen und Zuständen im Einzugsgebiet gefragt, damit die allgemeinen Ziele möglichst treffend von den Zielvariablen repräsentiert werden.

### 2.5.1. Beispiel

An dieser Stelle und in den drei nachfolgenden Kapiteln werden die Arbeitsschritte anhand eines fiktiven einfachen Beispiels demonstriert. In dem Beispiel soll es darum gehen, welche Maßnahmen in der Stadtentwässerung zur Anwendung kommen sollen, um durch die Verringerung der Entlastungen aus dem Kanalsystem eine Verbesserung der Bedingungen für den Vorfluter (das empfangende Gewässer) im Hinblick auf (a) die Wasserqualität und (b) die hydraulische Belastung bzw. das hydrologische Regime zu erreichen. Zusätzlich dazu sind die Kosten für das jeweilige Maßnahmenprogramm in Betracht zu ziehen. Die Ziele „Wasserqualität“ und „hydrologisches Regime“ wurden mit je zwei Zielvariablen abgebildet. Hinzu kommt noch der Preis für die Maßnahmen (Tabelle 2). Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die für das Beispiel verwendeten Zielvariablen keine Vorauswahl aus dem Zielvariablenkatalog oder gar Empfehlung darstellen, sondern lediglich der Einfachheit des Beispiels geschuldet sind. Wichtige gewässerökologische Ziele, z.B. ausreichende Sauerstoffkonzentration oder Vermeidung von Ammoniaktoxizität, werden in dem Beispiel nicht berücksichtigt.

Tabelle 2: Zielvariablen im Beispiel

Ziel	Zielvariable		Einheit
Hochwasserschutz	25-jährl. Hochwasserabfluss	HQ <sub>25</sub>	m <sup>3</sup> /s
Vermeidung von hydraulischem Stress für die Biozönose	Abweichung des 1-jährl. Hochwasserabflusses vom potentiell natürlichen Zustand	HQ <sub>1</sub>	%
Vermeidung von Eutrophierung in Seen	Phosphorfracht (pro Jahr)	PHF	kg/a
Vermeidung von Eutrophierung des Meeres	Stickstofffracht (pro Jahr)	NF	kg/a
Möglichst geringe Kosten	Projektkostenbarwert	PKB	Mio €

Die Entscheidungsmatrix enthält in diesem Stadium lediglich die Zeilen für die Zielvariablen und hat die Gestalt von Tabelle 3.

Tabelle 3: Beispielmatrix nach „Ziele festlegen“

		Variante:				
<u>Zielvariable</u>	<u>Einheit</u>					
HQ <sub>25</sub>	m <sup>3</sup> /s					
HQ <sub>1</sub>	%					
PHF	kg/a					
NF	kg/a					
PKB	Mio €					

## 2.6. Maßnahmenvarianten formulieren

In Kapitel 1.1.1 wurde bei der Darstellung der Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union als zentraler Bestandteil des *Bewirtschaftungsplans* das *Maßnahmenprogramm* genannt,

das im Wesentlichen alle Maßnahmen umfasst, die zur Erfüllung bestehender Richtlinien notwendig sind, sowie darüber hinaus notwendige Maßnahmen zur Zielerreichung des "guten Zustands" in allen Gewässern.

Hierbei wird die Forderung nach der *wirtschaftlichen Analyse* gestellt, indem nicht nur ökologische Zielsetzungen in die Entscheidung einfließen, sondern auch die *Kosteneffizienz* der möglichen Maßnahmen beurteilt werden.

Maßnahmen im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie sind hauptsächlich *Vorschriften* oder *Verboteseiten* des Gesetzgebers. Darunter fällt beispielsweise eine verschärfte Begrenzung von Emissionen aus der Stadtentwässerung in die angrenzenden natürlichen Gewässer.

In der Praxis können dann entsprechende *bauliche oder betriebliche Maßnahmen* erforderlich sein, damit diese Vorschrift eingehalten wird. Im Hinblick auf das Management kleiner Einzugsgebiete und die Arbeiten in diesem Projekt erhält der Begriff *Maßnahmenprogramm* also eine erweiterte und praxisbezogene Bedeutung.

Diese Aufgabe -nämlich die Identifikation eines geeigneten Maßnahmenprogramms- stellt sich nun, nachdem die Ziele durch die Vereinbarung konkreter Zielvariablen vorgegeben sind. Angesichts der großen Anzahl prinzipiell zur Verfügung stehender Maßnahmen und deren möglicher räumlicher Anordnung ist damit zu rechnen, dass „viele Wege nach Rom“ führen können.

Im Rahmen dieses Projektes und insbesondere im Zusammenhang mit der Aufstellung der Entscheidungsmatrix ist zu berücksichtigen, dass die Begriffe Maßnahmenprogramm, Maßnahmenkombination, Maßnahmenszenario, Maßnahmenvariante synonym verwendet werden.

### Wie wird nun das beste Maßnahmenprogramm ermittelt?

Bei dieser Aufgabe kommt man nicht an dem Know-how der Experten vorbei, die einen Überblick über die prinzipiellen Ursache-Wirkungs-Beziehungen im System *Einzugsgebiet* besitzen. In Kenntnis der Defizite und mit dem Wissen um die in Frage kommenden Maßnahmen sind diese in der Lage, Vorschläge für Maßnahmenvarianten mit einer guten Chance zum Erreichen der gesetzten Ziele zu formulieren. Ob indes ein Programm auf kurze, mittlere und lange Sicht einem anderen Programm vorzuziehen ist, kann auch der Fachmann in der Mehrzahl der Fälle nicht ohne detaillierte Untersuchungen beurteilen.

Zum einen sind die (objektiven) Auswirkungen infolge der räumlichen Ausdehnung des Einzugsgebiets und der Überlagerung von Effekten nicht ohne den Einsatz von Simulationsmodellen abzuschätzen. Zum anderen wird die Beurteilung natürlich von den individuellen Präferenzen abhängen, mit denen man gewisse Zustände gegenüber anderen bevorzugt. Dieser Konfliktaspekt wird im Kapitel 2.8 behandelt.

Die Standardvariante „Ist-Zustand beibehalten“ wird in der Regel in die Entscheidungsfindung einbezogen. Sie stellt hinsichtlich der *Investitionskosten* stets die beste Alternative dar.

### Welche Maßnahmen kommen zur Anwendung?

Auch wenn im vorigen Absatz bemerkt wurde, dass es des Know-hows von Experten bedarf, um vernünftige und Erfolg versprechende Maßnahmenvarianten zu entwickeln, sind auch hier (genau wie bei der Festlegung von Zielvariablen) erst einmal sämtliche vorstellbaren und vorgeschlagenen Möglichkeiten zur Debatte zugelassen. Prinzipiell darf im Gewässerbeirat also der Vorschlag für ein x-beliebiges Maßnahmenprogramm gemacht werden.

An dieser Stelle ist es wiederum die Aufgabe von Experten, die Mitglieder des Gewässerbeirats darüber in Kenntnis zu setzen, ob -und wenn ja, mit welchem Aufwand- die Erfolgswahrscheinlichkeiten dieser Variante abgeschätzt werden können.

Die Berechnung der Konsequenzen von Maßnahmen in Bezug auf die Zielvariablen erfordert häufig den Einsatz von Computermodellen. Wenn das der Fall ist, müssen diese natürlich in der Lage sein, die Maßnahmen abzubilden. Die Wahl geeigneter Modelle wird also zum einen durch die Vorgabe von

Zielvariablen eingeschränkt, deren Wert zu berechnen sein muss, und zum anderen durch die Fähigkeit, ein vorgeschlagenes Maßnahmenprogramm abzubilden. Darüber hinaus muss noch bekannt sein, ob die Aufstellung eines Modells auf Basis der vorhandenen Daten überhaupt möglich ist und Sinn macht.

Die hier diskutierten Tätigkeiten

- Aufstellung eines Maßnahmenprogramms und
- Voreinschätzung, ob es auch tatsächlich untersucht werden kann,

können durch entsprechende Kataloge für Maßnahmen (siehe 3.3.1) und Modelle unterstützt werden.

Im Gewässerbeirat ist dann zu entscheiden, ob der Vorschlag in die Untersuchungen (sprich: Entscheidungsmatrix) einbezogen werden soll. Das wird gewiss auch noch davon abhängen, welcher Aufwand damit verbunden ist und in welcher Qualität die Aussagen erwartet werden. Genau wie bei den Zielvariablen ist darauf zu achten, dass die Anzahl der Varianten beschränkt bleibt.

### 2.6.1. Beispiel

Nach einiger Diskussion einigt sich der Gewässerbeirat auf drei Maßnahmenzenarien, die auf ihre Wirksamkeit auf die festgelegten Zielvariablen (Tabelle 2) untersucht werden sollen (Tabelle 4).

Tabelle 4: Beispiel: Maßnahmenvarianten

Variante	
<b>Bodenfilter</b>	Ein neuer Bodenfilter empfängt die Entlastung von Mischwasser aus dem Kanalsystem. Dort findet eine Reinigung und verzögerte Weiterleitung statt.
<b>Abkopplung</b>	Es besteht die Möglichkeit, 10% der an das Kanalsystem angeschlossenen versiegelten Flächen „abzukoppeln“ und das Regenwasser örtlich zu versickern, um dadurch die Entlastung in die angrenzenden Gewässer bei Regenereignissen zu reduzieren.
<b>beides</b>	Sowohl der Bodenfilter wird gebaut als auch die Abkopplung durchgeführt

Zusammen mit der Variante „Ist-Zustand“ (d.h. keine Maßnahme implementieren) ergeben sich somit die vier Spalten für die Entscheidungsmatrix in Tabelle 5.

Tabelle 5: Beispielmatrix nach „Maßnahmenvarianten formulieren“

		<i>Variante:</i>			
<u>Zielvariable</u>	<u>Einheit</u>	Ist-Zustand	Bodenfilter	Abkopplung	beides
HQ <sub>25</sub>	m <sup>3</sup> /s				
HQ <sub>1</sub>	%				
PHF	kg/a				
NF	kg/a				
PKB	Mio €				

## 2.7. Fakten bestimmen

Mit „Fakten“ werden die Werte der Zielvariablen bezeichnet, die für jede Variante in die entsprechenden Zellen der Entscheidungsmatrix einzutragen sind. Die Bestimmung dieser Zahlenwerte ist oft sehr aufwendig, denn welche kurz-, mittel- und langfristigen Entwicklungen durch eine Maßnahme bzw. ein Maßnahmenprogramm im Detail zu erwarten sind, lässt sich aufgrund der komplexen Wirkungszusammenhänge und Überlagerungen in einem Einzugsgebiet in den seltensten Fällen a priori abschätzen. Beispielsweise kann der 50-jährliche Hochwasserabfluss an Gewässerposition x durch mehrere Aktivitäten im Oberlauf in unterschiedliche Weise beeinflusst sein.

### 2.7.1. Modelle und Simulation

Die *Simulation* ist eine Vorgehensweise zur Analyse *dynamischer Systeme*. Bei der Simulation werden Experimente an einem *Modell* durchgeführt, um Erkenntnisse über das *reale* System zu gewinnen. Es handelt sich um ein "Als ob"-Durchspielen von Prozessen.

Für den Einsatz von Simulationen kann es mehrere Gründe geben, z.B.

- Eine Untersuchung am realen System wäre zu aufwendig, zu teuer, ethisch nicht vertretbar oder zu gefährlich.
- Das reale System existiert (noch) nicht. Beispiel: Windkanalexperimente mit Flugzeugmodellen, bevor das Flugzeug gefertigt wird
- Für Experimente kann ein Simulationsmodell wesentlich leichter modifiziert werden als das reale System.
- Das reale System ist unverstanden oder sehr komplex.

In obigen Erklärungen zur Simulation wurde bereits auf den Begriff des Modells zurückgegriffen, zu dem ebenfalls eine kurze Erläuterung gegeben werden soll. Mit einem *Modell* verschafft man sich ein *vereinfachtes Abbild der Wirklichkeit*. Die Modellbildung ist gekennzeichnet durch [Stach1973]

- 1) *Abbildung*. Ein Modell ist immer ein Abbild von etwas, eine Repräsentation natürlicher oder künstlicher Originale, die selbst wieder Modelle sein können.
- 2) *Verkürzung*. Ein Modell erfasst nicht alle Attribute des Originals, sondern nur diejenigen, die dem Modellschaffer bzw. Modellnutzer relevant erscheinen.
- 3) *Pragmatismus*. Pragmatismus bedeutet soviel wie „Orientierung am Nützlichen“. Ein Modell ist einem Original nicht von sich aus zugeordnet. Die Zuordnung wird durch die Fragen „Für wen?“, „Warum?“ und „Wozu?“ relativiert. Ein Modell wird vom Modellschaffer bzw. Modellnutzer innerhalb einer bestimmten Zeitspanne und zu einem bestimmten Zweck für ein Original eingesetzt. Das Modell wird somit *interpretiert*.

Ein Modell zeichnet sich demzufolge durch Abstraktion aus, d.h. die bewusste Vernachlässigung bestimmter Merkmale, um die für den Modellierer oder den Modellierungszweck wesentlichen Modelleigenschaften hervorzuheben. Ein *Analysemodell* bzw. analytisches Modell ist ein explizites Modell, das aus einem mathematischformulierten System besteht.

Wenn heute von *Simulation* die Rede ist, meint man fast immer *Computersimulation*. Das analytische Modell wird durch ein *Computerprogramm* beschrieben, worin die *Verhaltensgleichungen* eines mathematisch definierten Systems in den *Verhaltensalgorithmen* implementiert sind.

Auch das Studium des realen Systems *Einzugsgebiet* wird naheliegenderweise durch den Einsatz von Simulationsmodellen unterstützt. In Anbetracht der vielen Wirkungszusammenhänge und der räumlichen Überlagerung bietet einzig diese Methode die praktischen Voraussetzungen, das dynamische Verhalten im Einzugsgebiet näherungsweise zu prognostizieren. Die kurz-, mittel- und langfristigen Effekte bei Änderungen am System lassen sich damit abschätzen und helfen bei der Erkennung von Risiken und Chancen, die durch die Implementierung von Maßnahmen stattfinden würden.

Also müssen für die Bestimmung von *Fakten*, wie bereits mehrmals angedeutet, Computermodelle zum Einsatz kommen, mit deren Hilfe „Impact assessment“ betrieben wird. Die Simulationsergebnisse bilden die Grundlage zur Berechnung der Werte der Zielvariablen, indem z.B. statistische Auswertungen durchgeführt werden (siehe Kapitel 2.5 und 2.7.2).

Die Auswahl der Modelle muss in Anlehnung an die vorliegende Aufgabenstellung erfolgen:

- Welche Prozesse sind zu untersuchen?
- Welche Maßnahmen sollen im Modell abgebildet werden?
- Welche Zielvariablen sollen bestimmt werden?

In vielen Fällen ist hierzu der Einsatz mehrerer Modelle erforderlich, mit denen jeweils unterschiedliche Teilbereiche des Wasserkreislaufs simuliert werden können. Ein „universelles Einzugsgebietsmodell“, mit dem „in einem Atemzug“ sämtliche interessierenden Aspekte und Maßnahmen abgebildet werden und die gewünschten Zielvariablen berechnet werden können, gibt es (noch) nicht und wird es nach Ansicht der Autoren in nächster Zeit auch nicht geben.

#### Niederschlags-Abfluss-(N-A-)-Prozesse in Siedlungsgebieten

Ein N-A-Modell besteht in der Regel aus mehreren Bausteinen, mit denen die Teilprozesse

- Abflussbildung
- Abflusskonzentration
- Abflusstransport
- Prozesse in Sonderbauwerken

abgebildet werden. Derartige Modelle werden seit vielen Jahren in den verschiedensten Bereichen der Wasserwirtschaft eingesetzt und sind Stand der Technik, in einigen Bereichen bilden sie sogar die Regel der Technik. Typische Anwendungsbereiche sind z.B. Kanalnetzrechnungen oder Hochwasservorhersagen.

#### Schmutzfrachttransport in Entwässerungssystemen

Schmutzfrachtmodelle basieren immer auf Niederschlags-Abfluss-Modellen, berechnen darüber hinaus den Abtrag von Schmutzstoffen von der Oberfläche und den Transport im Kanalnetz. Haupteinsatzgebiet ist die Berechnung von Entlastungsfrachten in Mischsystemen. Mit zunehmenden Anforderungen an die Regenwasserbehandlung wird aber auch der Einsatz für Trennsysteme interessant. Schmutzfrachtmodelle sind ebenfalls Stand der Technik.

Die meisten Modelle berechnen die Schmutzfracht nach der Zwei-Komponenten-Methode, d. h. die Schmutzfracht von Trocken- und Regenwetterabfluss werden getrennt ermittelt und im Kanalnetz überlagert. Dadurch kann die Verdünnung des Mischwassers während eines Regenereignisses simuliert werden. Darüber hinaus existieren Ansätze für die instationäre Simulation der Akkumulation und des Abtrages von Schmutzstoffen sowohl an der Oberfläche (Schmutzfrachtbildung) als auch im Kanalnetz (Schmutzfrachttransport) und für die Umwandlung von Stoffen im Kanalnetz. Da sich diese Prozesse aufgrund der Komplexität und den Abhängigkeiten von vielen Faktoren nur schwer abbilden lassen, werden diese Ansätze bislang nur im Forschungsbereich angewendet.

#### Simulation von Abwasserbehandlungsprozessen

Kanalnetz, Kläranlage und Gewässer bilden aus wasserwirtschaftlicher Sicht eine Einheit. Infolge der Zwischenspeicherung von Mischwasser im Kanalsystem wird die Kläranlage über längere Zeit hydraulischer stärker belastet und mit geringeren Konzentrationen beschickt als im Trockenwetterfall. Dadurch werden deren Betriebsprozesse beeinflusst und es kann zum Absinken der Reinigungsleistung kommen. Unter ungünstigen Umständen kann sogar der Fall eintreten, dass die Gesamtemission, d. h. die Summe der Kläranlagen-Ablaufmengen und der Mischwasserentlastungsmengen ansteigt [Durch1989]. Eine Berücksichtigung dieser Effekte im Hinblick auf Gesamtaussagen kann durch die dynamische Simulation von Kläranlagen erfolgen [Ott1995].

Dynamische Kläranlagensimulationsmodelle basieren auf Beschreibungen der reaktionskinetischen Prozesse in den einzelnen Behandlungsstufen *und* den mechanischen Abtrennungsvorgängen (Sedimentation, Filtration). Unter Vorgabe von Zuflussganglinien mit verschiedenen Stoffkonzentrationen - die mit einem Schmutzfrachtmodell berechnet oder gemessen werden -, kann eine kontinuierliche, dynamische Simulation der Eliminationsvorgänge erfolgen.

Die Reaktionskinetik der biologischen Prozesse wird in den meisten Modellen mit der Monod-Kinetik beschrieben. Das *Activated Sludge Model (ASM) No. 1* [ASM1986] war eines der ersten Modelle dieser Art. Zusammen mit den Weiterentwicklungen ASM2 und ASM3 ist das ASM1 heute in den meisten Softwareprogrammen implementiert.

Obwohl heute verschiedene kommerzielle Programme (PROSIM (BWB), SIMBA (ifak), STOAT (WRc, Großbritannien) oder GPS-X (Hydromantis, Canada)) für die dynamische Kläranlagenmodellierung zur Verfügung stehen, finden sie in der bundesdeutschen Planungspraxis noch wenig Verwendung. Der Grund dafür liegt sicherlich in den fehlenden Anforderungen durch die Genehmigungsbehörden. Dennoch kann die dynamische Kläranlagensimulation als Stand der Technik angesehen werden.

#### Stoffaustrags- und Erosions-Modelle für natürliche Flächen

In Einzugsgebieten mit entsprechendem Anteil an landwirtschaftlichen Nutzflächen ist nicht nur die Abflussbildung sondern auch der Stoffabtrag von un bebauten Flächen ein wichtiger Baustein eines integralen Wasser- und Stoffhaushaltsmodells. Es ist allgemein bekannt, dass z.B. der Nährstoffaustrag von landwirtschaftlichen Flächen bestimmend für die Gewässergüte sein kann. Trotz der im Vergleich zu versiegelten Flächen ungleich schwieriger zu modellieren Prozesse, sind entsprechende Modellansätze verfügbar.

Beispiele für Modelle, die den Stoffaustrag von natürlichen Flächen beschreiben, sind das *Nonpoint Source Model (NPSM)* - ein Bestandteil des Programmpaketes *BASINS* [EPA1998] - oder das *Agricultural Non-Point Source Pollution Model (AGNPS)* des *US Department of Agriculture*. In Deutschland werden u.a. auch die Modelle *MesoN* (vormals *Minerva*) und *ReproN* angewendet, um den

Stickstoffhaushalt in Ackerböden zu beschreiben. Nähere Information zur (GIS-gestützten) Modellierung von diffusen Einträgen finden sich u.a. bei [Behrendt1997] oder im Handbuch des Programms BASINS.

Weitere Modellansätze zu dieser Problematik sind unter dem Stichwort *Bodenerosion* zu finden. In der Fachdisziplin *Bodenkunde* sind in der Vergangenheit zahlreiche Modelle zur Beschreibung der Erosionsprozesse aufgrund von Niederschlägen entwickelt worden. Ein klassisches Modell ist hier die *Universal Soil Loss Equation* (USLE, dt.: universelle Bodenabtragungsgleichung). In den letzten Jahren wurde dieser empirische Ansatz durch physikalisch begründete Modelle erweitert, wie z.B. EROSION 2D/3D [Erosion1996]. Der Einsatz von Erosionsmodellen kann als Stand der Technik angesehen werden.

#### Grundwassermodelle

Programme zur Modellierung von Strömungs- und Transportvorgängen im Grundwasser sind zahlreich vorhanden. Die verschiedenen Modelle unterscheiden sich z.B. durch die Dimension (1-D, 2-D, 3-D), durch die Art der Diskretisierung (Finite-Differenzen-, Finite-Elemente-, Finite-Volumen-Methode) und durch die Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs (stationär/instationär). Die Anwendung von Grundwassermodellen stellt den Stand der Technik dar. Typische Anwendungsfälle sind die Ausbreitung von Schadstoffen im Untergrund oder die Abschätzung der Auswirkungen von Grundwasserabsenkungen.

Im Zuge einer integrierten Modellierung des Wasser- und Stoffhaushaltes unter der hier gegebenen Fragestellung – Wirkungsabschätzung für Entwässerungsmaßnahmen – ist es meist nicht erforderlich, Grundwasserströmungen im Detail abzubilden. Es reicht oftmals aus, den Grundwasserleiter als Black-Box (z.B. als linearer Einzelspeicher) zu betrachten und die Wasser- und Stoffeinträge lediglich zu bilanzieren.

#### Wasserhaushaltsmodelle

Niederschlags-Abfluss-Modelle simulieren für einen gegebenen Niederschlagsverlauf den zugehörigen (Oberflächen-)Abfluss. Die anderen Komponenten des Wasserhaushaltes - Evapotranspiration, Interflow, Grundwasserneubildung und Grundwasserströmung - werden im Allgemeinen nur soweit betrachtet, wie es zur Berechnung der Abflussbildung erforderlich ist. Wasserhaushaltsmodelle bilden dagegen alle Komponenten des Wasserhaushaltes mit mehr oder weniger komplexen Bausteinen ab. Derartige Modelle müssen auch niederschlagsfreie Zeiten ausreichend genau modellieren können, was von N-A-Modellen nicht unbedingt gefordert wird. Ein Schwerpunkt liegt deshalb auf der Modellierung der ungesättigten Bodenzone, die durch Evapotranspiration und Infiltration maßgeblichen Einfluss auf die Grundwasserneubildung und den Zwischenabfluss (Interflow) hat [Os1992]. Beispiele für Wasserhaushaltsmodelle sind die Programme NASIM [Hydrotec1998] oder MIKE-SHE [DHI1995]. Wasserhaushaltsmodelle sind Stand der Technik.

#### Gewässergütemodelle

Gewässergütemodelle haben trotz ihrer Komplexität eine lange Tradition. Bereits 1925 haben Streeter & Phelps in einer Studie zur Gewässerqualität des Ohio Rivers ein 1-dimensionales Gewässergütemodell aufgestellt. Seitdem sind die Entwicklungen stetig vorangetrieben worden, so dass mittlerweile Modelle vorliegen, mit denen die Strömungsverhältnisse und der Stoffhaushalt in Seen oder Ästuarien 3-dimensional berechnet werden können [Zielke1999].

Gewässergütemodelle können nach verschiedenen Kriterien klassifiziert werden:

- grundsätzliche mathematische Vorgehensweise (deterministische, stochastisch),

- modelltechnischer Ansatz (empirisch/physikalisch basiert)
- Dimension (0-D, 1-D, 2-D, 3-D)
- Diskretisierung (Finite-Differenzen-, Finite-Elemente-, Finite-Volumen-Methode)
- Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs (stationär/instationär jeweils bezogen auf Strömung und Stoffhaushalt)
- Erfassung der biologischen, chemischen und physikalischen Prozesse (reaktionskinetische, biozönotische, ökologische Modelle)

[Sieker2000] gibt einen Überblick über die derzeit verfügbaren Gewässergütemodelle. Beispiele für gebräuchliche Programme sind das Gewässergütemodell der Abwassertechnischen Vereinigung [ATV1999], MIKE11 (DHI) oder WASP5/ DYNHYD5 (US EPA).

Als Fazit ist festzustellen, dass die Modellierung der Gewässergüte in der Praxis nicht dem Stand der Technik entspricht.

#### Energie- und Stoffstrommodelle

Energie- und Stoffstrommodelle können als Allokationsmodelle betrachtet werden, die es erlauben, den Beitrag einer *einzelnen* Maßnahme zu den Umweltauswirkungen eines wasserwirtschaftlichen Szenarios (*Kombination verschiedener* Maßnahmen) wie z.B. Gewässereutrophierung oder CO<sub>2</sub>-Emissionen zu ermitteln.

Im Gegensatz zu den wasserwirtschaftlichen Modellen (z.B. Niederschlags-Abfluss-Modelle, Kläranlagenmodell) können Energie- und Stoffstrommodelle die in der Umwelt oder in technischen Anlagen stattfindenden Prozesse nicht mit hoher zeitlicher Auflösung wiedergeben. Die Energie- und Stoffströme werden vielmehr anhand der zur Verfügung stehenden Daten, die u.a. auch von den genannten wasserwirtschaftlichen Modellen stammen können, über einen längeren Zeitraum bilanziert. Auf diese Weise können für ein Einzugsgebiet beispielsweise die durchschnittlichen Emissionen eines Stoffes in die Gewässer pro Einwohner und Jahr ermittelt werden, wenn bestimmte wasserwirtschaftliche Maßnahmen verwirklicht werden.

Aufgrund der im Vergleich zu den wasserwirtschaftlichen Modellen weniger aufwendigen Darstellung der Einzelmaßnahmen bzw. Teilbereiche kann eine integrierte Betrachtung der Umweltauswirkungen erfolgen, die sich nicht allein auf die Gewässerbelastungen beschränkt. Durch die Bilanzierung aller mit den wasserwirtschaftlichen Maßnahmen verbundenen Stoffströme in den betrachteten Systemen (Einzugsgebieten) können darüber hinaus die Beiträge zu anderen Umweltproblembereichen als den gewässerspezifischen wie Bodeneutrophierung, Flächenverbrauch, Treibhauseffekt oder Ressourcenverbrauch beziffert werden. Möglich sind hier auch ökonomische Bilanzierungen (Kostenrechnungen) für die Szenarien.

Die Energie- und Stoffstrommodelle können mit dem Softwaretool UMBERTO erstellt werden. Neben der Möglichkeit, Energie- und Stoffstromnetze graphisch anschaulich darzustellen und die Daten für die abschließende Bewertung aufzubereiten, können in UMBERTO durch die Veränderung bestimmter Parameter Szenarien relativ einfach variiert werden. Mit Vorgaben für utopische Maximalszenarien (z.B. alternative Sanitärkonzepte für 50 bzw. 100% der Haushalte im Einzugsgebiet) können die Potenziale einzelner Maßnahmen im Hinblick auf das Erreichen von Umweltzielen (z.B. Zielkonzentrationen von Phosphor in den Gewässern) abgeschätzt werden. Dadurch kann die Frage geklärt werden, inwieweit durch einzelne wasserwirtschaftliche Maßnahmen oder nur durch die Kombination verschiedener Maßnahmen bestimmte Umweltziele erreicht werden können.

### Integrale Modellierung des Wasser- und Stoffhaushalts

Um Wasserbilanz und Stoffhaushalt eines urban geprägten Einzugsgebietes abbilden zu können, sind i. d. R. die folgenden Modellbausteine erforderlich:

- Niederschlags-Abfluss-Modelle für den Nachweis der Entwässerungssicherheit,
- Wasserbilanzmodelle, um die Einflüsse der Bewirtschaftungsmaßnahmen auf den Wasserhaushalt untersuchen zu können,
- Schmutzfrachtmodelle und
- Kläranlagenmodelle, um die Emissionen in die Gewässer quantifizieren zu können und
- Gewässergütemodelle für den Nachweis der gewünschten Gewässerqualität

Wie gezeigt wurde, sind diese Modelle inzwischen allgemein verfügbar und werden in den jeweiligen Spezialgebieten erfolgreich eingesetzt. Die Modelle sind praxisreif und werden größtenteils kommerziell vertrieben.

Es könnte nun der Eindruck entstehen, dass damit der Modellierung des Wasser- und Stoffhaushaltes eines ganzen Einzugsgebietes nichts mehr im Wege steht. Wie so oft ist aber auch hier die Gesamtheit mehr als die Summe der Einzelbausteine, d. h. eine unkritische, sequentielle Anwendung der oben angesprochenen Modelle alleine würde der Komplexität des Gesamtsystems unter Umständen nicht gerecht werden. Folgende Aspekte sind bei der Anwendung mehrere Modelle zur integralen Modellierung des Wasser- und Stoffhaushaltes eines Einzugsgebietes zu berücksichtigen:

- 1) Sind alle notwendigen Komponenten mit einer ausreichenden Genauigkeit erfasst?
- 2) Bestehen Rückkopplungen zwischen einzelnen Modellbausteinen?
- 3) Reicht die räumliche/zeitliche Auflösung der Einzelbausteine aus, um das Systemverhalten wiederzugeben (Längenmaßstab/Zeitmaßstab) ?
- 4) Können die Modelle über Schnittstellen miteinander kommunizieren?

#### *Zu 1: Notwendige Komponenten*

Die Auswahl der zur Anwendung kommenden Modellkomponenten hängt maßgeblich von den örtlichen Gegebenheiten ab. In Einzugsgebieten mit geringen Gefälleverhältnissen muss z.B. eher auf hydrodynamische Berechnungsverfahren zurückgegriffen werden als im Bergland. Für Flusseen sind andere Gütemodelle heranzuziehen als bei schnell fließenden Gewässern.

#### *Zu 2: Rückkopplungen zwischen einzelnen Modellbausteinen*

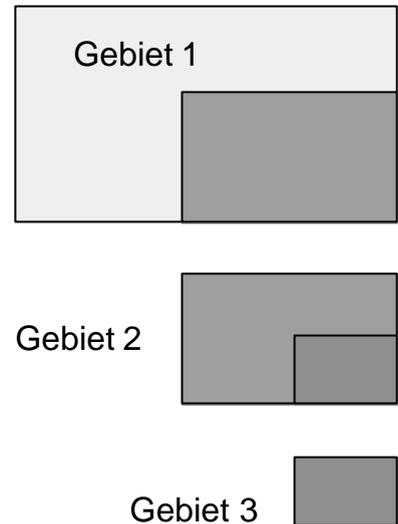
Schwierig oder sogar unmöglich wird die Anwendung mehrerer einzelner Modelle, wenn Rückkopplungen zwischen den einzelnen Systemkomponenten berücksichtigt werden müssen. Ein typisches Beispiel für eine Rückkopplung im Bereich der Wasserwirtschaft sind die Wechselwirkungen, die zwischen einem Fließgewässer und einem Grundwasserleiter im Flachland auftreten können.

Glücklicherweise beschränken sich bei der hier untersuchten Fragestellung die zu beachtenden Rückkopplungen im Regelfall auf die Komponenten des Wasserhaushaltes (Fließgewässer, Grundwasser, ungesättigte Bodenzone). Oftmals können sogar diese Rückkopplungen vernachlässigt werden (z.B. Wechselwirkungen zwischen Fließgewässer und Grundwasser in einem steilen Einzugsgebiet). Zwischen den anderen Modellen bestehen i. d. R. keine bzw. nur vernachlässigbare Rückkopplungen. Beispielsweise hat die Gewässergüte keinen Einfluss auf die Wasserbilanz, die

Kläranlage oder die Schmutzfrachtlentlastung. Dadurch wird es möglich, die einzelnen Modelle der Reihe nach anzuwenden und die Daten über externe Schnittstellen zu übergeben.

### Zu 3: Längenmaßstab/Zeitmaßstab

Ein weiterer wichtiger Aspekt, der bei der integralen Modellierung des Wasser- und Stoffhaushaltes beachtet werden muss, ist die Wahl der richtigen räumlichen und zeitlichen Auflösung. Kanalnetzmodelle bilden meist jede einzelne Haltung ab und weisen damit eine räumliche Auflösung von wenigen Metern auf. Ähnliches gilt für Niederschlags-Abflussmodelle zur Simulation dezentraler Maßnahmen (Mulden-Rigolen-Systeme, Zisternen). Diesen Längenmaßstab für die Simulation des Wasserhaushaltes eines ganzen Einzugsgebietes zu verwenden, wäre dagegen unsinnig. Typische Ausdehnungen von Teileinzugsgebieten liegen im Bereich von einigen hundert Metern bis zu Kilometern. Gegebenenfalls sind die angewendeten Modelle deshalb zu verschachteln. Das Modell für das größere Gebiet (z.B. das Gesamteinzugsgebiet) liefert die Randbedingungen für das eingebettete Gebiet (z.B. das Stadtgebiet). Dieser als „Nesting“ bezeichnete Prozess ist z.B. im Bereich der Modellierung von Küstengewässern üblich [Zielke1999].



Quelle: [Zielke1999]

Abbildung 14: Verschachtelung von Modellen (Nesting)

### Zu 4: Datenschnittstellen

Die Verknüpfung unterschiedlicher Modelle erfordert die Übergabe von Daten. Zum Beispiel muss im Rahmen einer Gesamtemissionsbetrachtung ein Schmutzfrachtmodell die Zustandsgrößen (Abfluss, CSB, etc.) an ein Kläranlagenmodell übergeben. Die EDV-technische Seite dieser Aufgabe ist durch entsprechende Software relativ einfach zu lösen. Anspruchsvoller ist dagegen die Konzeption der Datenschnittstelle hinsichtlich Art und Umfang der Parameter und ihrer räumlichen und zeitlichen Auflösung. Bei der Verknüpfung von Schmutzfracht- und Kläranlagenmodell ist z.B. zu überlegen, welche Parameter eine Schmutzfrachtberechnung übergeben muss, damit ausreichende Informationen für die Simulation der Abbauvorgänge bereitstehen.

### Erfahrungen mit Modellkopplungen

In Deutschland und international bestehen mittlerweile einige Erfahrungen mit einem kombinierten Einsatz einzelner Modellbausteine in der Siedlungswasserwirtschaft.

Das Thema „Gesamtemission“ wurde im Rahmen mehrerer wissenschaftlicher Arbeiten intensiv behandelt, z.B. bei [Rauch1998]. Außerdem befasste sich Anfang der neunziger Jahre eine Arbeitsgruppe mit der Durchführung von Gesamtemissionsberechnungen [AGGE1990].

Im Rahmen des so genannten TMDL-Programms (Total Maximum Daily Load) sind in den USA Immissionsbetrachtungen für alle Gewässer durchzuführen. Die Verknüpfung von N-A-Modellen mit Gewässergütemodellen scheint dabei mittlerweile eine Routineaufgabe zu sein.

Trotz dieser Erfahrungen kann die Verknüpfung verschiedener Modellbausteine nicht als Stand der Technik bezeichnet werden. Selbst bei großen Ingenieurplanungen (z.B. Generalentwässerungsplanungen) werden derartige Simulationen nicht durchgeführt.

Gewiss stellt die Computersimulation in diesem Zusammenhang die am besten geeignete Methode dar, wobei die Situation im Hinblick auf die Verfügbarkeit von Daten und die Qualität von Modellen zudem noch einem ständigen Fortschritt unterliegt.

Dennoch soll bei aller „Euphorie“ folgendes Zitat von Albert Einstein

„Sofern die Mathematik eine exakte Wissenschaft ist, ist sie nicht realistisch; und sofern sie realistisch, ist sie nicht exakt“

das Bewusstsein aufrechterhalten, dass den Modellergebnissen stets mit der notwendigen Distanz und Toleranz zu begegnen ist. Schließlich gibt es in dem Prozess der „Vereinfachung durch Modellbildung“, genügend Ansatzpunkte, die bewirken, dass die simulierte „Wirklichkeit“ der realen doch nicht ganz in der erhofften Weise entspricht.

## 2.7.2. Simulationsergebnisse auswerten - „Postprocessing“

Eine Computersimulation erzeugt eine Menge von Daten: den *Output*. Mit *Postprocessing* werden die Tätigkeiten zur Weiterverarbeitung oder Auswertung der Daten bezeichnet. Das umfasst z.B. die Umsetzung dieser Daten in eine andere Darstellung, damit sie einem anderen Computermodell als *Input* dienen können.

Letztendlich bilden die Ergebnisse die Grundlage für die Berechnung der Fakten, d.h. der Zahlenwerte für die Zielvariablen. Schließlich wurde ein Modell gerade für diesen Zweck eingesetzt.

### Wie sehen die Ergebnisse aus?

Ergebnisse sind modellspezifisch! Ihr Umfang ist prinzipiell darauf beschränkt, welche Objekte und Prozesse simuliert wurden. Zudem muss die Ausgabe von Zustandsgrößen explizit im Programm vorgesehen sein.

Infolgedessen besteht natürlich das Problem, wie die vorgegebenen Zielvariablen ermittelt werden. Denn aufgrund der vielen Möglichkeiten

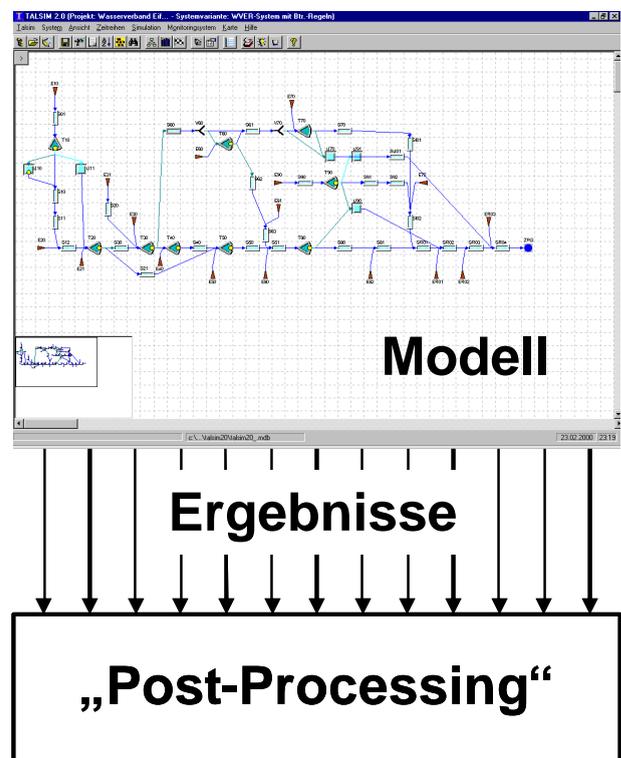


Abbildung 15: Modell und Post-Processing

zur Spezifikation der Zielvariablen ist nicht zu erwarten, dass diese unmittelbar aus dem Output des Simulationslaufs abzulesen sein werden.

### Wie sollten die Ergebnisse aussehen?

Durch eine Simulation wird der zeitliche Verlauf ausgewählter Zustandsgrößen erzeugt. Da Zielvariablen sich in vielen Fällen aus der Auswertung von Zeitreihen ergeben, indem z.B. der Spitzenabfluss einer definierten Jährlichkeit gefragt ist, stellen diese Zeitreihen die maßgebliche Grundlage für die Bestimmung der Fakten dar. Da verschiedene Modellanwendungen des gleichen Typs für einen Einsatz in Frage kommen (z.B. Niederschlag-Abfluss-Simulation), muss das Ziel darin bestehen, die Durchführung einer Simulation und anschließende Auswertung grundsätzlich getrennt betrachten zu können. Kenngrößen, die sich aus Zeitreihen ergeben, sieht man des weiteren nicht an, ob sie auf Basis gemessener oder simulierter Werte entstanden, so dass die „Verarbeitungs- und Auswertemethodik“ universell einsetzbar ist. Im Hinblick auf eine allgemein anwendbare Funktionalität ist es von Vorteil und zu begrüßen, wenn Modellergebnisse insbesondere in Gestalt von Zeitreihen zur Verfügung stehen.

Die darüber hinausgehende individuelle Aufbereitung und Ausgabe von Ergebnissen ist weiterhin Sache des Modellanbieters.

### 2.7.3. Beispiel

Nach der Simulation stehen langfristige Zeitreihen für die interessierenden Zustandsgrößen zur Verfügung. Aus der Abflussganglinie können die Werte für  $HQ_1$  und  $HQ_{25}$  mit statistischen Methoden bestimmt werden. Die Entlastungsfrachten für Phosphor und Stickstoff pro Jahr sind aus den simulierten Zeitreihen einfach zu ermitteln. Der Projektkostenbarwert wurde von den Fachleuten überschlägig berechnet.

Tabelle 6: Entscheidungsmatrix Beispiel nach „Fakten bestimmen“

		<i>Variante:</i>			
<u>Zielvariable</u>	<u>Einheit</u>	Ist-Zustand	Bodenfilter	Abkopplung	beides
$HQ_{25}$	$m^3/s$	40	36	34	29
$HQ_1$	%	300	40	50	30
PHF	kg/a	990	710	910	680
NF	kg/a	12.000	9.400	9.900	9.300
PKB	Mio €	0	5,8	3,8	9,8

Mitunter lassen sich bereits in diesem Stadium Schlüsse darüber ziehen, ob eine Variante einer anderen generell vorzuziehen ist. In vorliegendem Fall gewinnt man durch „bloßes Anschauen“ der Entscheidungsmatrix keine dementsprechenden Erkenntnisse zum „optimale Systemdesign“.

## 2.8. Vergleichende Bewertung

Mit dem Vorliegen der vollständig ausgefüllten Entscheidungsmatrix kann nun die „eigentliche“ Entscheidungsfindung stattfinden. Es gilt, die „beste Variante“ zu ermitteln, sich auf einen Kompromiss zu einigen oder zu beschließen, dass zusätzliche Untersuchungen im Hinblick auf Zielvariablen oder Varianten durchgeführt werden sollten, um danach in eine erneute Bewertung einzusteigen.

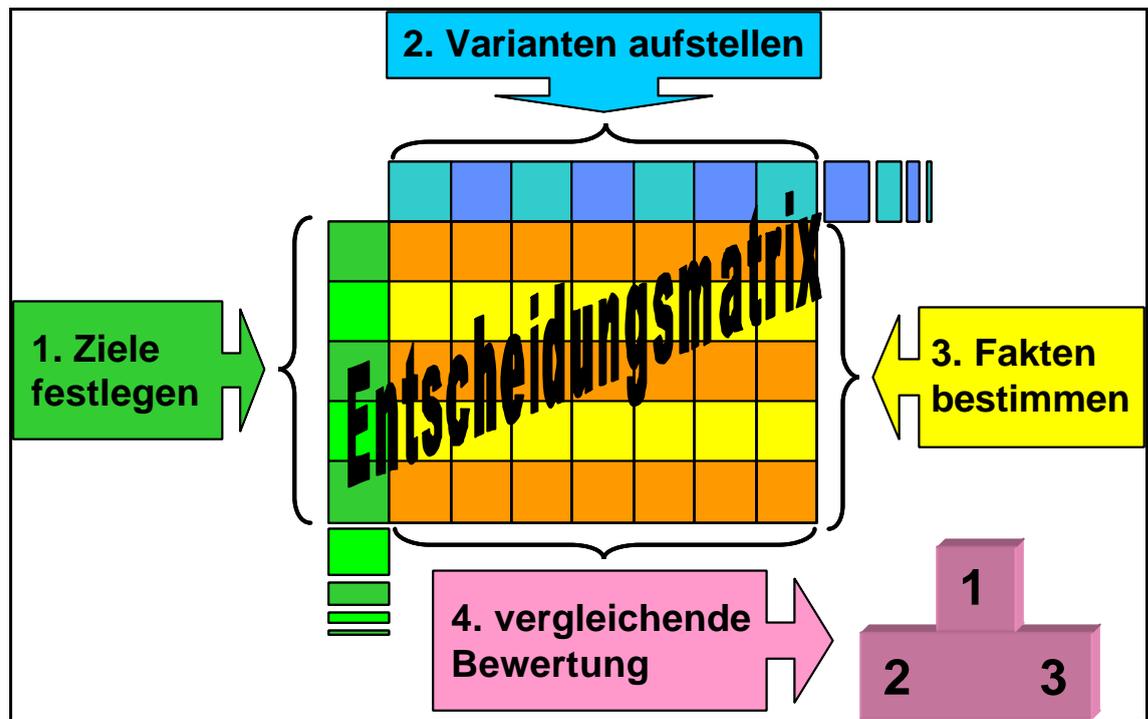


Abbildung 16: Entscheidungsmatrix mit Bewertung (Prinzip)

Mit Absicht ist in dem vorigen Satz die „beste Variante“ hervorgehoben, denn infolge der vielen und in der Regel konfliktären Zielsetzungen wird es in diesem *multikriteriellen Entscheidungsproblem* in den seltensten Fällen eine Varianten geben, die in allen Belangen überlegen ist. Eine Variante kann bezüglich des Erreichens eines Ziels besser sein als eine andere, für ein anderes Ziel jedoch schlechter abgeschnitten haben. Die Frage

### Für was sollte man sich entscheiden?

erfordert auf jeden Fall eine systematische Vorgehensweise.

Zweifellos trifft es zu, dass die Konsequenzen der Maßnahmen mit Hilfe unterschiedlichster Berechnungsmethoden (z.B. Computersimulation) nicht exakt ermittelt werden konnten, sondern eine gewisse Unsicherheit aufweisen. Die Zahlen unterliegen einer gewissen Unsicherheit und kommen im besten Fall dem Erwartungswert für den entsprechenden Zustand nahe. Aus pragmatischen Gründen sollte dennoch angenommen werden, dass die Fakten die tatsächliche Entwicklung zum Ausdruck bringen, um die Voraussetzungen für eine *Entscheidung unter Sicherheit* zu erfüllen. Im Klartext heißt das, dass die Runde der Entscheider die Inhalte der Entscheidungsmatrix in dieser Gestalt akzeptiert. **!**

Für die Unterstützung im Entscheidungsproblem stehen verschiedene *Entscheidungsregeln* und –*methoden* zur Verfügung, wie z.B. das *Dominanzprinzip*, die *lexikographische Ordnung*, die Zielgewichtung, die *Nutzwertanalyse*, die *Goal-Programming* oder der *Analytic Hierarchy Process (AHP)* u.v.m. In diesem Zusammenhang werden zudem häufig die Begriffe *Multi-attribute decision making (MADM)*, *Multi-criteria decision making (MCDM)* und *Multi-objective decision making (MODM)* verwendet, wobei für den Laien nicht auf Anhieb klar ist, was diese überhaupt unterscheidet. Nach Ansicht der Autoren spielt eine wissenschaftlich präzise Auslegung im Hinblick auf das praktische Arbeiten mit der Entscheidungsmatrix im Gewässerbeirat nur eine untergeordnete Rolle und es wird aus diesem Grund an dieser Stelle auch nicht weiter auf die entsprechenden Definitionen eingegangen.

Es gibt jedoch einige einfache und anschauliche, gleichwohl nicht-triviale Methoden, so dass der Einsatz eines multikriteriellen Bewertungsverfahrens auf jeden Fall zu empfehlen ist, um den Entscheidungsprozess formal zu unterstützen. Ein derartiges Verfahren

- unterstützt bei der Auswahl des besten Szenarios nach den Präferenzen der Entscheidungsträger.
- stellt den Weg der Entscheidungsfindung transparent dar. Dies erleichtert die Diskussion der Ergebnisse mit verschiedenen Interessengruppen.
- ermöglicht Sensitivitätsanalysen (z.B. für die Gewichtung der Zielvariablen), die die Diskussion zusätzlich unterstützen.

Einen Überblick über multikriterielle Entscheidungsfindung geben [MerzBuck1999], [Schuh2001a], oder [MofSar2006]. Insbesondere [Schuh2001b] beschreibt dabei die theoretische und praktische Eignung von Verfahren für Fragestellungen der nachhaltigen Entwicklung und der Wasserwirtschaft. Es werden dabei die Qualitätsanforderungen an ein derartiges multikriterielles Verfahren diskutiert, die hinsichtlich *Vollständigkeit*, *Transparenz*, *Nachvollziehbarkeit*, *Objektivität*, *Genauigkeit*, *Praktikabilität*, *Wirtschaftlichkeit* u.a. bestehen.

Wenn es um die Bewertung der Qualität einer Variante geht, können gewiss die Zielvariablen jede für sich miteinander verglichen werden: Kosten mit Kosten, HQ<sub>10</sub> mit HQ<sub>10</sub> usw. Es wird dabei in der Regel so sein, dass eine Variante in einem Aspekt besser ist als eine andere und dafür in einem anderen Aspekt schlechter. Beispielsweise wird die Variante „Nichtstun“ im Hinblick auf die Investitionskosten stets besser sein als alle anderen Varianten, dafür aber keine zusätzlichen Verbesserungen im Hinblick auf z.B. die Wasserqualität herbeiführen können. Im Hinblick auf die Entscheidungsfindung und die Ermittlung einer „wünschenswerten“ Alternative stellt sich unwillkürlich die Frage:

### Wie werden Varianten „als Ganzes“ verglichen?

Da Äpfel nicht mit Birnen verglichen werden können, führt zur Aufstellung einer Systematik kein Weg daran vorbei, die Zielvariablen bzw. die Fakten in ein *gemeinsames Wertesystem* zu übertragen. Der Begriff „Valuation“ bezeichnet {NatureVal}

“The process of expressing a value for a particular good or service ...in terms of something that can be counted, often money, but also through methods and measures from other disciplines (sociology, ecology, and so on)”

Dieses Zitat drückt eine gebräuchliche und für jeden verständliche Art der Belegung der Fakten mit einem Wert dar: *Money*. Wenn es gelingt, jeden der interessierenden Aspekte in einer monetären Einheit (sprich: Euro) auszudrücken, kann auf dieser Basis eine *Kosten-Nutzen-Analyse (Cost-Benefit-Analysis)*

durchgeführt werden. Dieses Verfahren wird häufig für die Bewertung von Projekten der öffentlichen Hand eingesetzt.

Da wir uns hier allerdings im Kontext einer nachhaltigen Entwicklung bewegen, macht sich das auch in der Wahl der Ziele bzw. Zielvariablen bemerkbar. Dabei entsteht das Problem, dass die ökonomische Bewertung von umweltbezogenen Aspekten überaus schwer fällt. Wie wird der monetäre Nutzen (Schaden) von Aktivitäten ermittelt, wenn keine unmittelbare ökonomische Beurteilung möglich ist? Mit wie viel Euro ist die Verbesserung der Wasserqualität zu veranschlagen? Was „bringt“ die Renaturierung eines Flussabschnittes? Wie hoch ist der finanzielle Schaden für die Umwelt durch den Bau einer Stauanlage?

Es gibt zwar Ansätze für eine monetäre Bewertung derartiger Aspekte wie z.B. *Avoided Damage Cost Method*, *Replacement Cost Technique*, *Production Function Method*, u.a. Allerdings erfordern diese einen gewissen Berechnungsaufwand und stoßen insbesondere dann an ihre Grenzen, sobald der Natur „an sich“ ein Wert zugeordnet wird {NatureVal}.

Das Fazit aus diesen Überlegungen kann nur sein, dass eine ausschließlich monetär durchgeführte Bewertung in diesem Zusammenhang nicht den passenden Zugang darstellt.

## Welche Verfahren sind denn geeignet?

Folgendes Verfahren stellt eine nahe liegende Verallgemeinerung der Kosten-Nutzen-Analyse dar:

Die *Kosten-Wirksamkeits-Analyse* (KWA) (Cost-Effectiveness-Analysis) ist ein Instrument zur Bewertung von Wirtschaftlichkeit von Projekten, deren Kosten zwar über Marktpreise ermittelt werden können, deren Nutzen jedoch nicht monetär gemessen werden kann (z.B. Menschenleben) oder dessen monetäre Messung in der Gesellschaft umstritten ist.

Hier muss indes die Frage beantwortet werden: Wie wird denn die „Wirksamkeit“ einer Variante ermittelt?

Die Wirkungen werden nach einem gewichteten Punktesystem bewertet (vergleichbar dem Nutzwert in der Nutzwertanalyse, siehe 2.8.1). Dieser Ansatz ist geeignet, wenn „weiche“, also in Geldwert oder Zahlen nicht darstellbare Kriterien vorliegen, an Hand derer zwischen verschiedenen Alternativen eine Entscheidung gefällt werden muss. Von zentraler Bedeutung ist dabei der Begriff der *Präferenz*, die im Bewertungsprozess den Vergleich zwischen den Zielvariablen ermöglicht.

Im Rahmen des Projektes wurde aus Gründen der Eignung und der leichten Verständlichkeit insbesondere die Nutzwertanalyse eingesetzt (Prinzip: „Stiftung Warentest“), die im nachfolgenden Kapitel kurz beschrieben ist. Auf die Berechnung von *Penalties*, die gewissermaßen eine „Invertierung“ des Nutzwertes darstellen, aber einen umfassenderen Wertebereich bieten, wird kurz in Kapitel 2.8.2 eingegangen. Zum Abschluss wird in Kapitel 2.8.3 noch das *Outrankingverfahren* PROMETHEE skizziert, das sich nach Einschätzung der Autoren trotz der etwas anspruchsvolleren theoretischen Grundlagen ebenfalls für die Unterstützung der Entscheidungsfindung im Gewässerbeirat eignen sollte.

## 2.8.1. Nutzwertanalyse

Die *Nutzwertanalyse* (NWA; auch *Punktbewertung* oder *Scoringmodell* genannt) ist laut <Zangenmeister> die

"Analyse einer Menge komplexer Handlungsalternativen mit dem Zweck, die Elemente dieser Menge entsprechend den Präferenzen des Entscheidungsträgers bezüglich eines multidimensionalen Zielsystems zu ordnen. Die Abbildung der Ordnung erfolgt durch die Angabe der Nutzwerte (Gesamtwerte) der Alternativen."

Für jede Variante wird also ein Nutzwert (eine positive reelle Zahl) berechnet und über deren Größe eine Reihenfolge (Ordnung) erstellt. Die „beste Variante“ ist diejenige mit dem höchsten Nutzwert.

### Wie wird der Nutzwert berechnet?

Jeder Zielvariablen wird eine Nutzenfunktion zugeordnet, deren Argumentebereich (x-Achse) den Wert der Zielvariablen umfasst und deren Wertebereich (y-Achse) zwischen 0 (kein Nutzen) und 1 (höchstmöglicher Nutzen) liegt. Die nachfolgenden Beispiele verdeutlichen, wie diese Funktionen für unterschiedliche Aspekte gestaltet werden können.

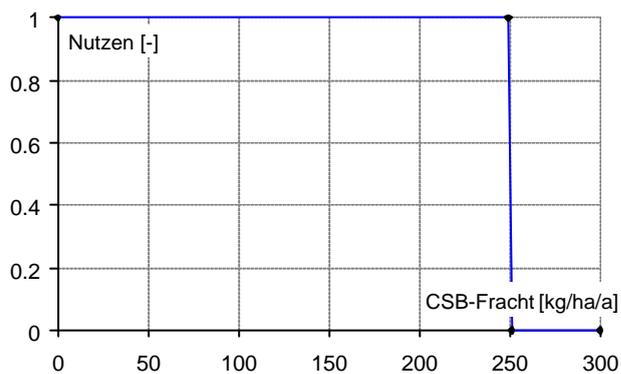


Abbildung 17: Nutzenfunktion (Beispiel 1)

nach sich ziehen müsste.

In einem zweiten Beispiel soll die Konzentration eines fiktiven Stoffes im Gewässer in dem Intervall [0,025 mg/l; 0,05 mg/l] liegen. Dieser „Wunsch“ kann mit der Nutzenfunktion in Abbildung 18 zum Ausdruck gebracht werden. Hier fällt auf, dass die Intervallgrenzen etwas toleranter gehandhabt werden, der Nutzen also nicht abrupt auf 0 fällt.

In Hessen beträgt die zulässige Fracht an CSB, die pro Hektar und Jahr aus dem Kanalsystem einer Kommune in das angrenzende Gewässer entlasten darf, 250 kg. Diese Größe wird in der Regel mit Hilfe des Simulationsprogramms SMUSI abgeschätzt [SMUSI1998] und kann somit als Zielvariable gewählt werden. Wird dieser Wert nicht überschritten, bedeutet das „höchstmöglichen“ Nutzen (=1); bei Überschreitung ist der „Nutzen“ gleich 0 (Abbildung 17). Im Grunde handelt es sich hierbei um eine „scharfe Bedingung“ („Constraint“), deren Verletzung sogar das Verwerfen der Variante

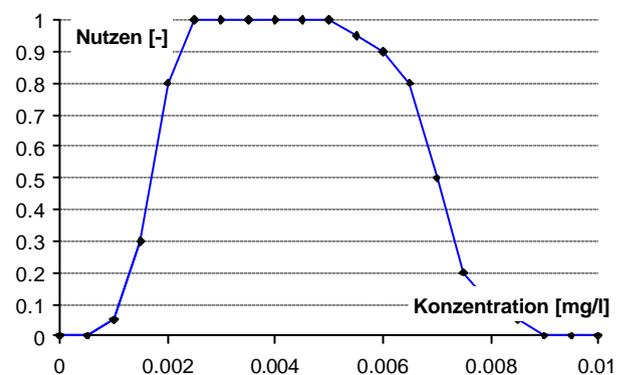


Abbildung 18: Nutzenfunktion (Beispiel 2)

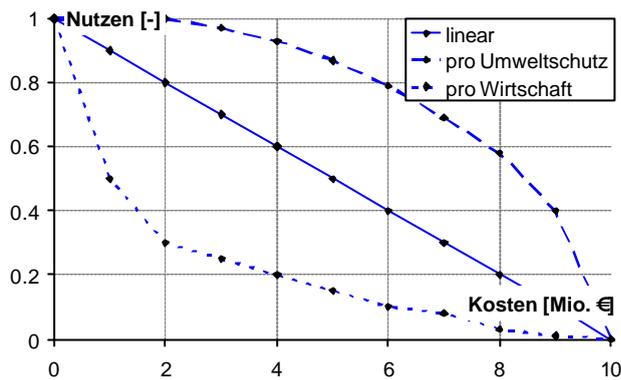


Abbildung 19: Nutzenfunktion (Beispiel 3)

Nach Spezifikation sämtlicher Nutzenfunktionen ergeben sich auf deren Basis aus den Fakten die Teilnutzwerte für jede der Zielvariablen.

Es kann natürlich sein, dass unterschiedlichen Zielvariablen unterschiedliche Bedeutung im Hinblick auf den Gesamtnutzen zugemessen wird. Dem wird Rechnung getragen, indem die Zielvariablen noch mit *Gewichten* belegt werden. Der Nutzwert einer Variante ergibt sich, indem die Teilnutzwerte mit den Gewichten multipliziert und aufaddiert werden ( $m$  = Anzahl der Zielvariablen):

$$\text{Gesamtnutzwert} = \sum_{j=1}^m g_j * n_j; \quad g_j \in [0;1], \quad \sum_{j=1}^m g_j = 1; \quad n_j: \text{Teilnutzwert der Zielvariablen } j$$

Formel 1: Berechnung des Gesamtnutzwerts

Auf diese Weise entsteht eine Präferenz zwischen den einzelnen Zielvariablen und darüber hinaus für das Gesamtsystem. Die NWA besitzt eine große Flexibilität hinsichtlich des Zielsystems. Varianten können unmittelbar miteinander verglichen werden. Die Subjektivität der Bewertung fließt ein in die

- Gestaltung der Nutzenfunktionen und
- die Wahl der Gewichte.

Wichtige Hinweise zur Gestaltung der Nutzenfunktionen und zum Zusammenhang zwischen Nutzenfunktionen und Gewichten gibt 3.7.1. Ein gutes Lehrbuch, das allerdings weit über die hier dargestellte einfache Nutzwertanalyse hinausgeht, ist „Rationales Entscheiden“ [EisWeb1999].

Nutzenfunktionen und Gewichte sind im Gewässerbeirat zu diskutieren und festzulegen. Das Ausprobieren unterschiedlicher Nutzenfunktionen und Gewichtungen führt oft zu neuen Erkenntnissen während des Entscheidungsprozesses, unterstützt den Diskurs zwischen unterschiedlichen Standpunkten und erleichtert das Finden eines Kompromisses. Dieser Standpunkt wird auch von [Schuh2001b] vertreten:

Aufgrund der leicht verständlichen Vorgehensweise zur Berücksichtigung aller relevanten Bewertungskriterien wirkt die Nutzwertanalyse für die Entscheidungsunterstützung zur Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung besonders geeignet.

## 2.8.2. „Penalties“

Ein absolut vergleichbarer Ansatz zur Nutzwertanalyse besteht in der Vergabe von *Penalty* anstatt Nutzenfunktionen. Mit Hilfe derartiger Funktionen wird jeder Zielvariablen statt eines Nutzwertes ein gleichfalls abstrakter *Strafwert* zugeordnet. Das Konzept der nach oben unbeschränkten Penalties ermöglicht eine umfassendere Berechnungsbreite und stärkere Vergleichsmöglichkeiten als das bei den Nutzenfunktionen der Fall ist, deren Wertebereich stets im Intervall [0;1] liegt. „Constraints“ oder sogar „KO-Kriterien“ lassen sich damit flexibler handhaben, indem deren Verletzung tolerant und dennoch wirksam durch den Verlauf der *Penaltyfunktion* abgebildet werden kann (Abbildung 20).

Die Gesamtbewertung verläuft wiederum vergleichbar zur Nutzwertanalyse, indem jedes Kriterium (jede Zielvariable) mit einer Gewichtung versehen wird und die Gesamtsumme der Penalties den „Negativwert“ der Variante charakterisieren: Je weniger Penalties, desto besser ist eine Variante.

Analog zu den Nutzenfunktionen werden die Ideen und Möglichkeiten anhand folgender Beispiele verdeutlicht.

Bei der Nutzenfunktion in Abbildung 17 gab es für die Zielvariable CSB-Entlastungsfracht lediglich die

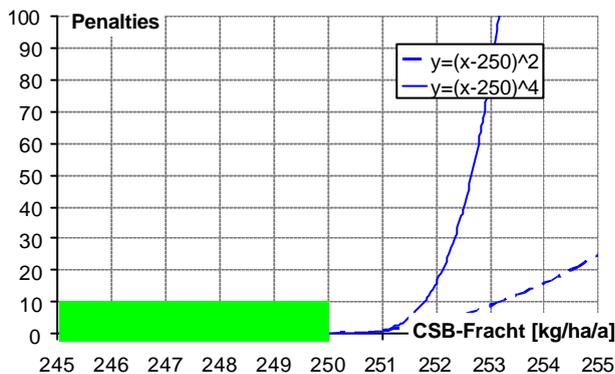


Abbildung 20: Penaltyfunktion (Beispiel 1)

250 kg/ha/a nach eigenen Vorgaben und in Relation zu den anderen Zielvariablen beschrieben werden.

Das Beispiel in Abbildung 21 für die Konzentration in einem Gewässer zeigt, dass für den „grünen Bereich“ keinerlei Strafpunkte vergeben werden, sowie Unter- bzw. Überschreitung unterschiedlich bestraft werden können.

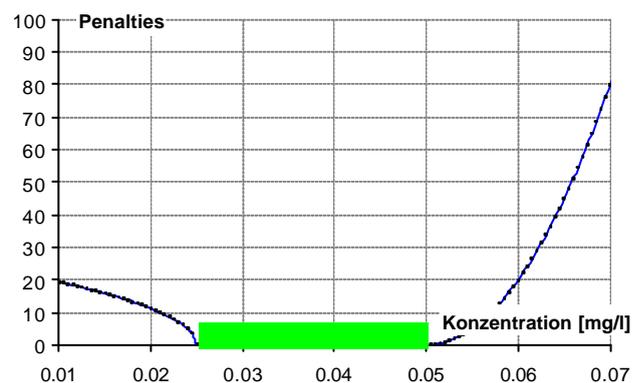


Abbildung 21: Penaltyfunktion (Beispiel 2)

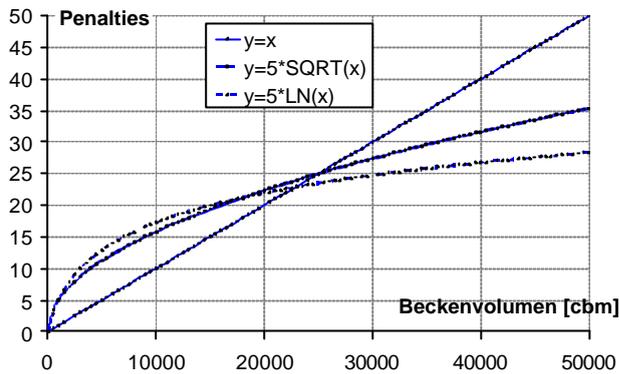


Abbildung 22: Penaltyfunktionen (Beispiel 3)

Wie auch bei den Nutzenfunktionen wird das „Design“ der Penaltyfunktion wiederum vom Standpunkt des Betrachters abhängen und als subjektiver Faktor bei der Durchführung der Bewertung zu berücksichtigen sein. Dem wird man am besten gerecht, indem interaktiv unterschiedliche Funktionen „ausprobiert“ werden (Abbildung 22) und überprüft, ob es signifikante Änderungen in der Rangordnung der Varianten gibt.

Die Entstehung der Präferenz durch die Bildung der gewichteten Penaltysumme ist im Grunde identisch zur Nutzwertanalyse (Formel 1).

### 2.8.3. PROMETHEE

Das multikriterielle Bewertungsverfahren *PROMETHEE* (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) wurde von Brans et al. im Jahre 1984 vorgestellt [PROM1984].

Im Gegensatz zur Nutzwertanalyse wird nicht der Zielvariablen selbst ein Nutzen zugewiesen, sondern der Differenz zwischen zwei Werten dieser Variablen. Die *Präferenzfunktion* beschreibt das Ausmaß, um wie viel Prozent eine Variante bezüglich einer Zielvariablen besser ist als eine andere. Abbildung 23 deutet beispielsweise in leicht unterschiedlicher Weise an, welche Rolle die Zielvariable „Preis“ beim Autokauf spielen kann. Ein Preisunterschied von weniger als 2000,- € wird mit einer äußerst geringen Präferenz belegt (0=Indifferenz) und hat somit nur geringen Einfluss auf die Entscheidung. Bei Zunahme der Preisdifferenz wird die Präferenz für die billigere Variante immer stärker bis hin zur strikten Präferenz (Wert 1).

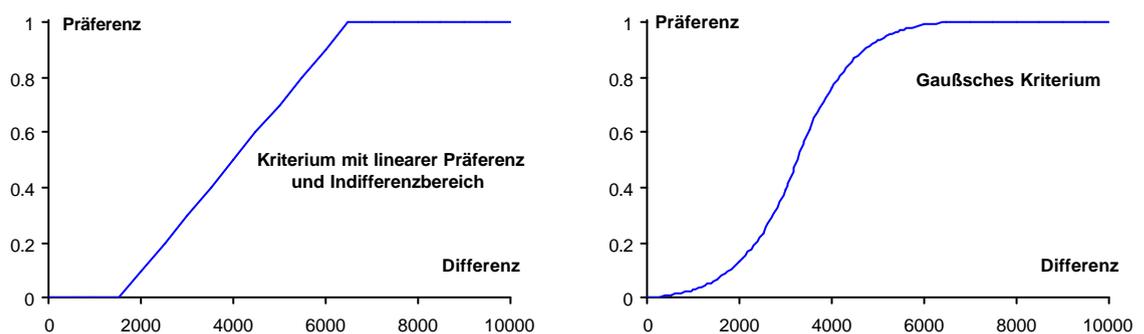


Abbildung 23: Beispiele für Präferenzfunktionen

Für den Verlauf der Präferenzfunktionen werden im Allgemeinen sechs verschiedene Funktionstypen vorgeschlagen, mit denen sich lineare, stufenweise oder auch Gaußsche Präferenzvorstellungen modellieren lassen [Rentz1998]. Darüber hinaus steht es dem Entscheidungsträger frei, seine eigenen Präferenzen hinsichtlich jedes einzelnen Kriteriums zu realisieren. Die Wahl der Präferenzfunktion ist trotz der unterschiedlichen Typen oft einfacher als die Festlegung der Nutzenfunktionen der NWA. Eine

nahe liegende Möglichkeit ist, sich auf den Wert zu einigen, ab dem ein signifikanter Unterschied vorliegt und ab diesem Wert die volle Präferenz zu vergeben. Als Funktionstyp bietet sich dann „linear“ oder „Gauß ohne Indifferenzbereich“ an (wie in Abbildung 23).

Das Grundprinzip basiert also auf einem paarweisen Alternativenvergleich entlang jedes Kriteriums. Bei jedem dieser Vergleiche werden Präferenzwerte vergeben, deren anschließende Aggregation zur Reihenfolgenbestimmung der vorhandenen Alternativen genutzt werden. Hierbei wird wie bei der Nutzwertanalyse wiederum jedem der Präferenzwerte ein Gewicht zugewiesen, das die Bedeutung des Kriteriums in der Gesamtheit der Zielvariablen widerspiegelt.

Der Ablauf des PROMETHEE-Verfahrens kann wie folgt grob skizziert werden [Rentz1998]:

- 1) Lege für jede Zielvariable  $k$  eine verallgemeinerte Präferenzfunktion  $p_k(d)$  fest (siehe Abbildung 23).
- 2) Lege die Gewichte  $g_k$  für die Zielvariablen fest.
- 3) Bestimme für jede der  $n$  Alternativen die *Outranking-Relation* zu jeder der anderen Alternativen:

$$p(i, j) = \sum_{k=1}^m g_k * p_k(d) \in [0,1]$$

Der Präferenzindex  $p(i, j)$  stellt dabei ein Maß für die

Stärke der Präferenz einer Alternative  $i$  gegenüber einer anderen Alternative  $j$  bei gleichzeitiger Beachtung aller Kriterien dar (Abbildung 24).

- 4) Als Maß für die *Stärke* einer Alternative wird deren *Ausgangsfluss* berechnet:

$$\Phi^+(i) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1, j \neq i}^n p(i, j)$$

- 5) Als Maß für die *Schwäche* einer Alternative wird deren *Eingangsfluss* berechnet:

$$\Phi^-(i) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1, j \neq i}^n p(j, i)$$

- 6) Im Anschluss daran erfolgt die *Graphische Auswertung* der Outranking-Relation

Das Verfahren PROMETHEE I bestimmt aus dem Vergleich der Eingangs- und Ausgangsflüsse eine *partielle Präordnung*, in der neben schwachen Präferenzen auch die *Unvergleichbarkeit* von Alternativen abgebildet ist. In einem gerichteten Graphen führt genau dann eine Kante von einer Varianten zu einer anderen, wenn sie vorgezogen wird, so wie das in Abbildung 25

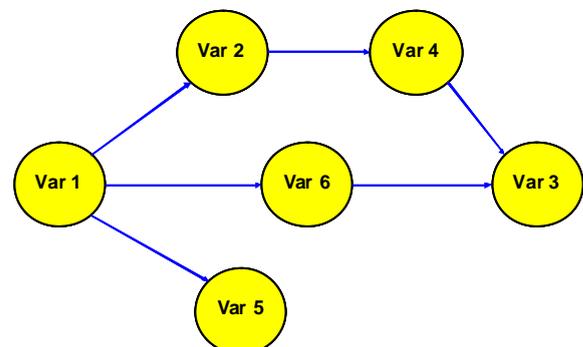


Abbildung 25: PROMETHEE- Muster einer partiellen Präordnung

für die Varianten 1 und 6 der Fall ist. Dagegen sind z.B. die Varianten 5 und 6 unvergleichbar.

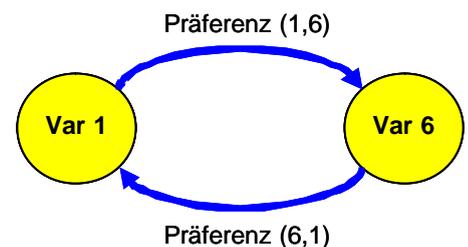


Abbildung 24: PROMETHEE- Prinzip des Präferenzindex

Anhand der graphischen Auswertung lassen sich Cluster ablesen, so dass in der Interpretation der Ergebnisse die Gruppe der besten Alternativen identifiziert werden kann. Auch die Abbildung von Unvergleichbarkeiten von Alternativen ist hilfreich, da auf diese Weise weitergehender Informationsbedarf ermittelt werden kann.

Werden aus der Differenz der Ausgangs- und Eingangsflüsse die so genannten Nettoflüsse

$$\Phi(i) = \Phi^+(i) - \Phi^-(i)$$

bestimmt, führt das zu dem Verfahren PROMETHEE II und man gelangt damit zu einer vollständigen Rangordnung der Alternativen

Die hierdurch auftretende Kompensation zwischen Eingangs- und Ausgangsflüssen ist jedoch gerade bei der Berücksichtigung umweltorientierter Kriterien, wie Wirkungsindikatoren oder Emissionen verschiedener Schadstoffe in die Medien Wasser, Luft und Boden, nicht immer erwünscht, so dass für ökologische Bewertungen zunächst einmal PROMETHEE I zur Anwendung kommen sollte [Rentz97b].

Die Vorzüge von PROMETHEE liegen in der separaten Auswertung der Stärken und Schwächen von Alternativen und in der Möglichkeit, Präferenzschwellenwerte festzulegen. Ebenso ist es einfacher, die Präferenzfunktionen festzulegen als die Nutzenfunktionen der NWA zu definieren.

Von Nachteil ist das Phänomen, dass es infolge des paarweisen Vergleichs von Alternativen zu Rangumkehrungen kommen kann, wenn ein unbedeutendes Szenario entfernt wird. In [KeyPeet1996] findet sich ein Beispiel dafür, dass Platz 1 und 2 vertauscht werden, wenn das bis dato schlechteste Szenario aus der Auswahl entfernt wird. Die Autoren gehen davon aus, dass infolge der theoretisch anspruchsvolleren Grundlagen von PROMETHEE die Mitglieder des Gewässerbeirats eher zum Einsatz der Nutzwertanalyse tendieren dürften.

PROMETHEE wurde bereits in einem früheren Forschungsvorhaben vom Kooperationspartner Technische Universität Berlin (Fachgebiet Wasserreinigung) in eine EXCEL-Anwendung umgesetzt [Ruh2004].

## 2.8.4. Beispiel (Nutzwertanalyse)

Nachdem in unserem fiktiven Beispiel die Fakten bestimmt wurden, liegt nun die ausgefüllte Matrix vor (Tabelle 6). Auch wenn diese bereits eine gewisse Grundlage für eine Entscheidung liefert, indem die Auswirkungen der Szenarien bezüglich der Ziele quantifiziert sind, ist die Wahl einer optimalen Lösung nicht ohne weiteres möglich. Ohne große Anstrengungen ist zu erkennen, dass keine Lösung bezüglich aller Ziele überlegen ist und dass es jetzt darauf ankommt, welche Schwerpunkte gesetzt werden.

Im Gewässerbeirat wurden für alle Zielvariablen  $HQ_{25}$ ,  $HQ_1$ , PHF, NF und PKB Nutzenfunktionen definiert. Daraus ergaben sich mit den Fakten aus der Entscheidungsmatrix die jeweiligen Teilnutzwerte für die untersuchten Varianten (Abbildung 26 und Abbildung 27). Die Beschriftung entspricht dabei von links nach rechts den Nummern der Varianten in der Entscheidungsmatrix (1 = Ist-Zustand, 2 = Bodenfilter, usw.).

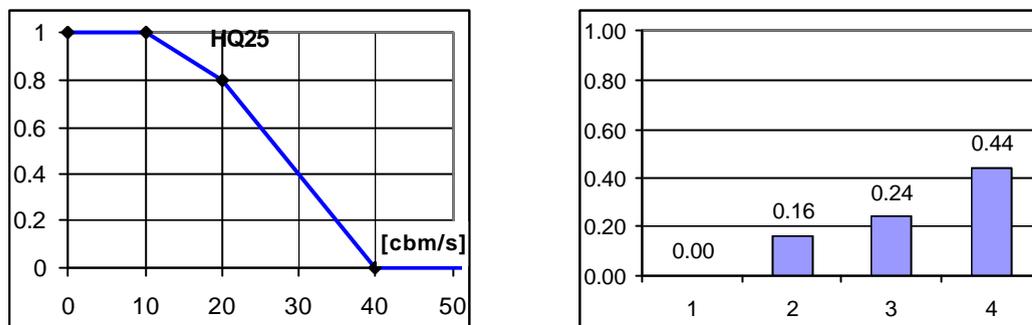


Abbildung 26: Beispiel – Nutzenfunktion und Nutzwerte für die Zielvariable  $HQ_{25}$

Die Bedeutung der Nutzenfunktion für die Zielvariable  $HQ_{25}$  (Abbildung 26 links) bringt zum Ausdruck, dass ein Abflusswert von bis zu  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  vollen Nutzen bedeutet. Größere Abflusswerte führen dazu, dass der Nutzen linear abnimmt. Die Abnahme des Nutzens verschärft sich oberhalb einem Wert von  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ , so dass ab  $40 \text{ m}^3/\text{s}$  kein Nutzen mehr verzeichnet wird. Der Wert  $34 \text{ m}^3/\text{s}$  der dritten Variante (Abkopplung) ergibt auf diese Weise den Teilnutzwert 0.24 (Abbildung 26 rechts). Analog dazu

- bekommt eine Abweichung des  $HQ_1$  vom potenziell natürlichen Zustand von bis zu 10% den Nutzwert 1. Eine mehr als 100%ige Abweichung erhält den Nutzwert 0.
- wird für die Phosphorfracht PHF gemäß dem [LAWA1998a] Vorschlag für eine Güteklassifikation von rückgestauten Fließgewässern auf Basis des Chlorophyll-a-Gehaltes und dazu korrelierende  $P_{\text{ges}}$  Konzentrationen nach [BehOp1996] folgendes angesetzt
  - 30 kg entsprechen nach Division durch MQ der Konzentration eines oligotrophen Gewässers (Güteklasse I)
  - 2000 kg entsprechen analog einem poly-hypertrophen Gewässer (GK III-IV)
- werden für die Stickstofffracht NF in Anlehnung an die chemische Gewässergüteklassifikation aus [LAWA1998b] 20 fach höhere Werte als für P angesetzt.

In ähnlicher Weise lassen sich die Nutzenfunktionen der anderen Zielvariablen interpretieren und mit den Fakten die Nutzwerte berechnen (Abbildung 27 und Tabelle 7).

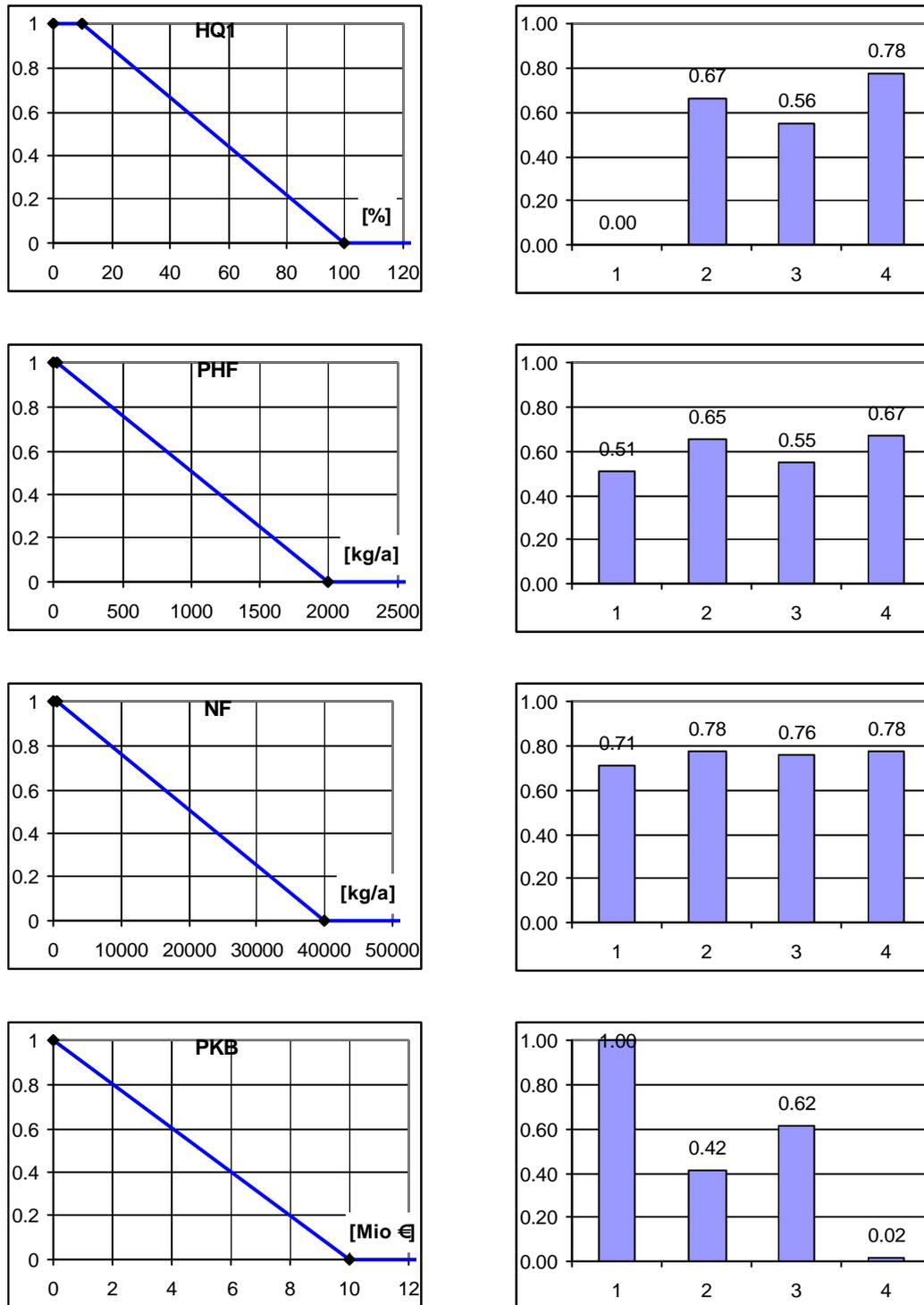


Abbildung 27: Beispiel – Nutzenfunktion und Nutzwerte für die Zielvariable PKB

Tabelle 7: Entscheidungsmatrix Beispiel mit Fakten (Teilnutzwerten)

		<b>Variante:</b>			
<b>Zielvariable</b>	<b>Einheit</b>	<b>Ist-Zustand</b>	<b>Bodenfilter</b>	<b>Abkopplung</b>	<b>beides</b>
HQ25	m <sup>3</sup> /s	40 (0)	36 (0.16)	34 (0.24)	29 (0.44)
HQ1	%	300 (0)	40 (0.67)	50 (0.56)	30 (0.78)
PHF	kg/a	990 (0.51)	710 (0.65)	910(0.55)	680(0.67)
NF	kg/a	12.000 (0.71)	9.400(0.78)	9.900(0.76)	9.300(0.78)
PKB	Mio €	0 (1)	5,8 (0.42)	3,8 (0.62)	9,8 (0.02)

Jede der fünf Zielvariablen muss nun noch mit einer Gewichtung versehen werden, die ihre Bedeutung zu Berechnung des Gesamtnutzens der Variante zum Ausdruck bringen soll.

Zunächst einmal hat man im Gewässerbeirat den Vorschlag gemacht, Gewichtungen wie in Abbildung 28 vorzunehmen. Das Ergebnis wird mit Hilfe eines Balkendiagramms verdeutlicht. Jeder Balken setzt sich zusammen aus den gewichteten Teilnutzwerten einer Variante; die Höhe des Balkens repräsentiert somit den Gesamtnutzen der Variante.

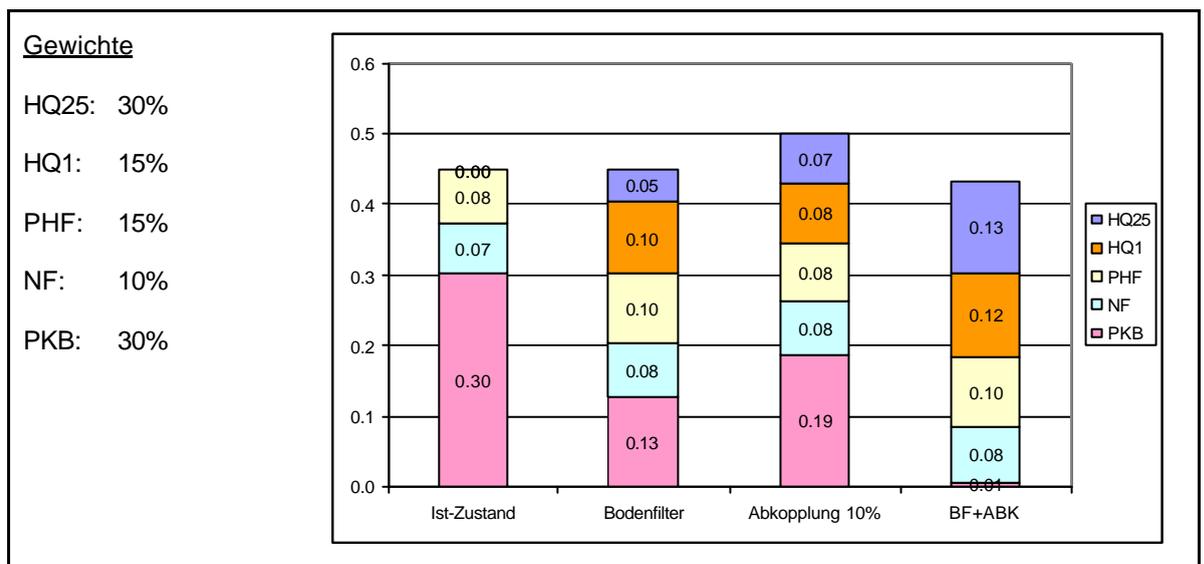


Abbildung 28: Beispiel - Gewichtung 1

In der ersten Untersuchung schneidet das Abkopplungsszenario am besten ab, was insbesondere auf relativ geringe Kosten und eine „gleichmäßige Erfüllung“ der anderen Ziele zurückzuführen ist. Die anderen Varianten halten sich im Bezug auf ihren Gesamtnutzwert in etwa die Waage, was aber durch völlig unterschiedliche Teilnutzwerte zustande kommt.

Im Anschluss daran wird der Vorschlag gemacht, den Schwerpunkt im Hinblick auf das hydrologische Regime und die Kosten zu setzen und dafür Qualitätsaspekte außer Acht zu lassen. Dabei hat man sich auf Gewichtungen gemäß Abbildung 29 geeinigt.

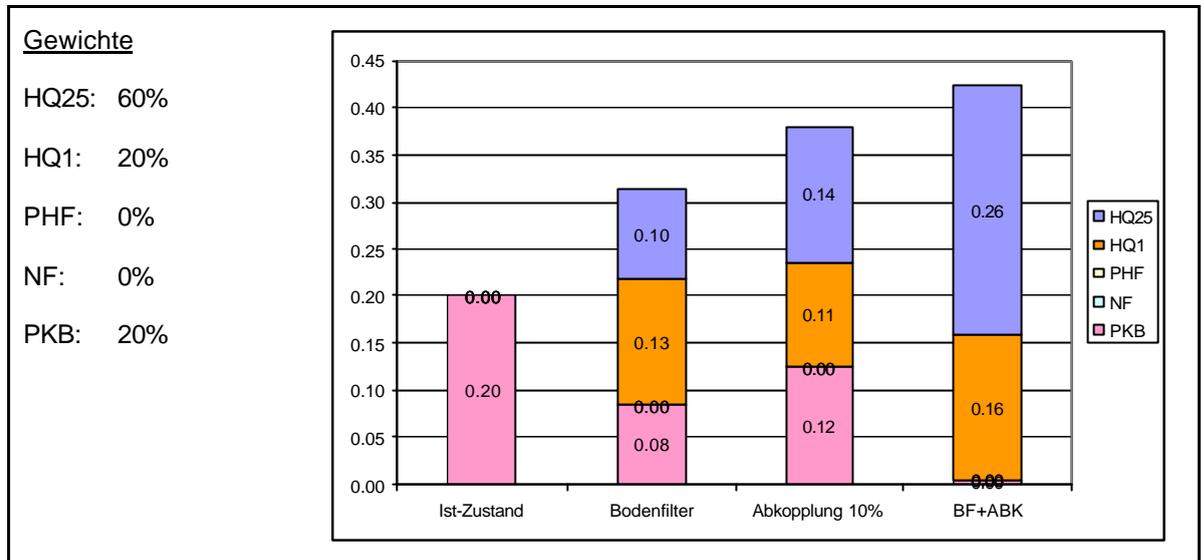


Abbildung 29: Beispiel - Gewichtung 2

Naheliegenderweise „verschwinden“ die Teilnutzwerte für PHF und NF und diejenige Variante schiebt sich in den Vordergrund, die den Hochwasserabfluss am meisten „drückt“.

Auf Basis der Werte in der Entscheidungsmatrix können jetzt mit dem geeigneten Werkzeug in relativ kurzer Zeit zahlreiche derartiger Auswertungen durchgeführt werden, indem z.B. auch noch die Gestalt der Nutzenfunktionen variiert wird oder Sensitivitätsanalysen bezüglich der Gewichtungen gemacht werden. Die Anwendung der Nutzwertanalyse sollte interaktiv in der Entscheiderrunde vonstatten gehen, damit aus den Ergebnisse und Abweichungen im Diskurs die entscheidenden Erkenntnisse gewonnen werden. (siehe dazu Kapitel 3.7).

## 2.9. Zusammenfassung: Methodik

Das Ziel dieses Kapitels bestand darin, einen Überblick über die geeignete Vorgehensweise und den passenden methodischen Rahmen für das „Einzugsgebietsmanagement“ zu liefern.

Im ersten Schritt wurde die Etablierung eines *Gewässerbeirats* in den Vordergrund gestellt, in dem die Interessen der Wasserwirtschaft umfassend vertreten sind und der somit eine äußerst heterogene Zusammensetzung hinsichtlich der fachlichen Vorkenntnisse der beteiligten Personen haben kann. Es wird betont, dass die praktische Tätigkeit des Gewässerbeirats die aktive Unterstützung durch Experten sowohl in fachlicher als auch technischer Hinsicht bedarf. Diese stellen zu den gegebenen Zeitpunkten die entscheidungsrelevanten Informationen bereit und geben auf Wunsch einen detaillierten Einblick in die zugrunde liegenden Methoden und Verfahren.

Die zentralen Aspekte wurden nach Ansicht der Autoren in einer dem Kontext und der Zielgruppe angemessenen Weise angesprochen. Das Hauptanliegen bestand in der übersichtlichen und allgemeinverständlichen Darstellung für die Praxis, indem weitgehend auf theoretische Grundlagen verzichtet wurde oder diese lediglich in ihrer prinzipiellen Bedeutung angesprochen wurden. Auch in dieser Hinsicht ist es Aufgabe der Experten, bei Anfragen aus dem Gewässerbeirat entsprechende Auskünfte zu erteilen.

### Organisation – „Gewässerbeirat“

- Gewässerbeirat „ins Leben rufen“, Satzung geben
- Zusammensetzung wird durch Situation im Einzugsgebiet bestimmt
- Hat nicht unbedingt Entscheidungsbefugnis; bereitet Entscheidungen vor
- Unbedingt dafür Sorge tragen, dass Entscheider mit am Tisch sitzen
- Bietet Perspektiven für aktive Öffentlichkeitsbeteiligung
- Mitglieder benötigen Basis-Know-how (Bestand, Methodik, Vorgehensweise)
- Fragen klären:
  - Wer übernimmt die Kosten für die Arbeit des Gewässerbeirats?
  - Wer übernimmt die Kosten für Untersuchungen?

### Bestandsaufnahme

- Wo gibt es welche Daten
- Fundus an Modellen zum „Ausprobieren“ von Maßnahmen

### Methodischer Rahmen – die Entscheidungsmatrix

- Anschauliche, verständliche und allgemein akzeptierte Darstellung
- Bildet die Schritte im Planungs- und Entscheidungsprozess ab

### Ziele festlegen

- Für Untersuchungen dürfen prinzipiell beliebige Ziele vorgeschlagen werden

- Ziele werden durch Zielvariablen „messbar“ gemacht
- *Komplexe Aufgabe*: Sinnvolle *Spezifikation* der Zielvariablen bedarf Experten-Know-how
  - Richtlinien müssen eingehalten werden
  - Zielvariablen müssen berechenbar sein
- Unterstützung durch Katalog für Zielvariablen
- *Berechnung* der Zielvariablen stellt oft eine anspruchsvolle Aufgabe dar
- Ziele stehen in der Regel im Konflikt zueinander (→ vergleichende Bewertung)

### **Maßnahmenvarianten aufstellen**

- Erweiterter Maßnahmenbegriff (geht über WRRL hinaus)
- *Komplexe Aufgabe*: Sinnvolle *Spezifikation* wird im allgemeinen Sache von Experten sein (aber wie bei den Zielen sind im Gewässerbeirat zunächst einmal beliebige Vorschläge erlaubt)
- Unterstützung durch Kataloge für Maßnahmen

### **Fakten bestimmen**

- Einsatz von Simulationsmodellen
  - Müssen Maßnahmen abbilden können
  - Müssen Zielvariablen berechnen können
  - Mitunter großer Aufwand für Modellierung sowie Pre- und Postprocessing
  - Ausgabe von Zeitreihen, damit universelle Auswertemethodik anwendbar ist
- Berechnung von Projektkostenbarwert

### **Vergleichende Bewertung**

- Systematische Entscheidungsfindung durch *Multikriterielle Analyse*
- Auswahlkriterien für Bewertungsverfahren:
  - für nachhaltige Entwicklung geeignet
  - verständlich für den Gewässerbeirat (Background der Personen berücksichtigen)
  - Diskurs unterstützen durch interaktive Anwendung
- Vorschläge:
  - Nutzwertanalyse
  - Penalties
  - evtl. PROMETHEE

## 3. Decision Support: Konzept und Komponenten

### 3.1. Einleitung

Die Ursprünge von Decision Support Systemen liegen eindeutig im betriebswirtschaftlichen Umfeld. An bedeutenden amerikanischen Instituten entstanden in den 50er und 60er Jahren infolge der zunehmenden Rechnerleistung Ideen zu deren zielgerichteten Einsatz in Unternehmen, um z.B. die Buchhaltung zu automatisieren und darauf basierende Auswertungen als eine wesentliche Informationsquelle für das Management rasch zur Verfügung stellen zu können. Die ursprünglichen Wurzeln werden durch folgendes Zitat von *Keen und Stabell* aus einem Vorwort zu den *Addison Wesley Series on Decision Support* (1978) belegt:

The concept of Decision Support has evolved from two main areas of research: the theoretical studies of organizational decisionmaking done at the Carnegie Institute of Technology during the late 1950s and early '60s and the technical work on interactive computer systems, mainly carried out at the Massachusetts Institute of Technology in the 1960s.

Originäre Konzepte für *Informationssysteme* und *Decision Support* sind den Werken von [Morton1971] oder [Davis1974] zu entnehmen. Einen Meilenstein in der Zusammenfassung der Entwicklungen bis zu diesem Zeitpunkt stellt die Arbeit von [SprCar1982] dar (siehe zu diesem Thema auch {DSSHISTORY}).

Im Laufe der Zeit haben sich aus den systematisch durchgeführten Untersuchungen zum Einsatz des Computers für die Erhöhung von Rationalisierungs- und Produktivitätspotentialen in Unternehmen eigenständige Disziplinen entwickelt. Die *Wirtschaftsinformatik* befasst sich [Reichm1996]

mit der Unterstützung des Informationssystems ‚Unternehmensführung‘ durch den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien. Informationssysteme stellen eine strukturierte Sammlung von Daten, Modellen und Methoden dar, die reale oder hypothetische Sachverhalte abbilden.

Im englischen Sprachraum wird demgegenüber der Begriff *Information Systems* für diese Disziplin verwendet, der auf die eigentliche und verallgemeinernde Zielsetzung hinweist und die allgemeine Interpretation und Übertragbarkeit auf beliebige Problemfelder rechtfertigt.

In diesem Sinne gibt es heutzutage viele verschiedene Ausprägungen der Disziplin *Angewandte Informatik*. Der hier betrachtete Zusammenhang des Wasser- und Stoffstrommanagements fällt in den Bereich der *Umweltinformatik*. Laut [Grüt1999] ist die

Umweltinformatik eine Teildisziplin der Angewandten Informatik, die mit Methoden und Techniken der Informatik diejenigen Informationsverarbeitungsverfahren analysiert, unterstützt und mitgestaltet, die einen Beitrag zur Behebung, Vermeidung oder Minimierung von Umweltbelastungen und Umweltschäden leisten können"

Hierbei unterscheidet man seinerseits *betriebliche* und *überbetriebliche* Umweltinformatik. Die betriebliche Umweltinformatik hat es sich zur Aufgabe gemacht, Umweltinformationssysteme im betrieblichen Kontext (Betriebliche Umweltinformationssysteme - BUIS) zu entwickeln. Aber

Um den Anforderungen eines nachhaltigen Stoffstrommanagements nachzukommen, ist es notwendig auch die zwischen- und überbetrieblichen Stoffströme zu optimieren. Leichte Änderungen im Produktionsprozeß eines Betriebes können aus dem ehemaligen Abfall einen wertvollen Rohstoff für einen anderen Betrieb machen. Solche Optimierungspotentiale lassen sich allerdings nur erkennen, wenn möglichst viele Stoffströme einer Region bekannt sind inkl. ihrer ökologischen, ökonomischen und sozialen (Beschäftigung) Parameter sowie ihrer Wechselwirkungen untereinander. Eine solche Fülle an Information und Komplexität läßt sich nur mit den entsprechenden Methoden der computerunterstützten Stoffstrommodellierung beherrschen.

(siehe {Umweltinf}). Aus diesen Worten zur Begründung der *überbetrieblichen Umweltinformatik* geht hervor, dass die herausragende Zielsetzung im „Management von Stoffströmen“ besteht, wofür noch erhebliche Anstrengungen im Hinblick auf die Computerunterstützung zu unternehmen sind. Es gelten hierfür die gleichen Argumente wie für den Themenkomplex des *Business Intelligence* [Gren2000]:

Mit dem Treffen richtiger Entscheidungen steht und fällt die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen. Unterstützung liefern Software-Lösungen, die entscheidungsrelevante Informationen verwalten, aufspüren und in den Gesamtkontext einordnen.

Die Bedeutung der Informationstechnologie für die effiziente Durchsetzung *Nachhaltiger Entwicklung* im Allgemeinen – und *Integrierte Wasserwirtschaft* im speziellen - wird generell anerkannt. Gleichermaßen wird die Aktualität dieses Themas durch zahlreiche Publikationen und Forschungsprogramme der vergangenen Jahre dokumentiert und die Notwendigkeit weiterer Verbesserungen bekräftigt ([ASCE1998], [UFZ1999],[Price2000]). Als Paradebeispiel können die vom BMBF organisierten Untersuchungen zur Elbe dienen, worin ein nicht unwesentlicher Bestandteil u.a. in der Entwicklung von Konzepten für ein DSS bestand ([BfG2000a], [BfG2000b]).

### 3.1.1. Spezifikation von Decision Support Systemen: „Angebot“ versus „Nachfrage“

Wie ist denn nun ein entsprechendes Softwaresystem zu definieren, dessen Aufgaben und Zielsetzungen durch die bisherigen Ausführungen deutlich zum Ausdruck gekommen sind? Und wie geht man bei Konzeption und Aufbau eines derartigen Systems vor?

Diese Fragen sind aufgrund der Komplexität der Aufgabe nicht ohne weiteres und in allen Fällen eindeutig zu beantworten – schon gar nicht in diesem engen Rahmen. Historisch bedingt sind zu diesem Thema viele verschiedene Ausprägungen zu konstatieren und es existieren zum Teil kontroverse Vorstellungen hinsichtlich der Klassifikation von derartigen Softwaresystemen. Es wird hier also lediglich der Versuch unternommen, einige wesentliche Ideen, Konzepte und Entwicklungen anzubringen, die zum Gesamtverständnis beitragen und die im Hinblick auf das Projekt von Bedeutung sind.

Der *U.S. National Report to International Union of Geodesy and Geophysics 1991-1994* gibt im Abschnitt *Recent developments associated with decision support systems in water resources* [WatKin1995] einen kurzen und präzisen Überblick über den im Zusammenhang mit Wasserwirtschaft interessierenden Stand der Entwicklungen. Darin wurde folgende Arbeitsdefinition gewählt:

„A Decision Support System (DSS) is an integrated, interactive computer system, consisting of analytical tools and information management capabilities, designed to aid decision makers in solving relatively large, unstructured problems.“

Aus dieser Formulierung wird zweifelsohne die problem- bzw. zielorientierte Betrachtungsweise deutlich. Dem gemäß ist ein Softwaresystem also genau dann als DSS zu bezeichnen, wenn es bei der Lösung

von komplexen „unstrukturierten“ Problemen unterstützt, wie sie auch in den erwähnten Entscheidungsprozessen auftreten. Insofern spielen dabei der konkrete Aufbau und die Bestandteile nur eine nachgeordnete Rolle. [Davis1988] bringt diesen Aspekt elegant zum Ausdruck:

„Differences in our professional experience and backgrounds can cause the same concept to be discovered and applied in many areas only by different names. It takes a long time to realize that a ‚Rose is a Rose‘ by any name. The manager is rarely concerned with the title used to classify an automated system. The important criteria is whether the system provides the features and capabilities necessary to support a particular process“.

Zweifelsohne erfordert die Komplexität in der Bereitstellung derartiger Systeme eine entsprechende Strukturierung bei Konzeption und Realisierung. Das ist auch die Ursache dafür, dass in der Praxis dieser strikt am Anwender ausgerichteten Sichtweise häufig ein an der Entwicklung derartiger Werkzeuge orientierter Ansatz gegenüber steht. Eine gebräuchliche und häufig verwendete Darstellung der prinzipiellen Struktur von DSS

ist die in Abbildung 6 gewählte Unterteilung in *User-Interface*, *Data-base*, *Model-base* und *Tool-base*[HahnEng2000].

Eine umfassende Beschreibung von Konzepten mit dem Schwerpunkt auf modellbasierte Decision-Support Systemen ist [Mak1994] zu entnehmen, dessen

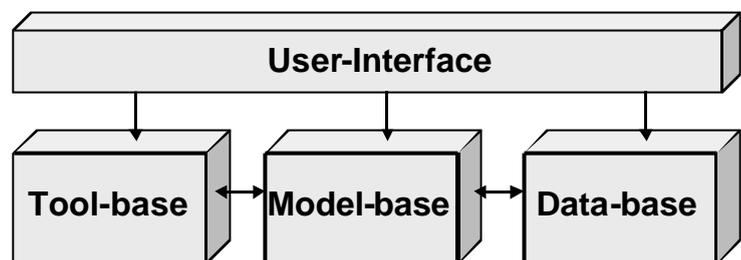


Abbildung 30: DSS-Aufbau (1)

Arbeit am *International Institute for Applied Systems Analysis* (IIASA) entstand. Ebenso gibt [Os1997] einen Überblick über existierende Konzepte mit der speziellen Zielsetzung des *Group Decision Support*. Für weitere Informationen auf diesem Gebiet wird verwiesen auf z.B. [LouCos1991], [FedJam1996], [Bender1996], [SimBen1996].

Die *Recent developments...* (siehe oben) beschreiben den aktuellen Stand der Entwicklungen des Decision Support in Bezug auf wasserwirtschaftliche Aufgaben von zwei Seiten, was in der Gliederung deutlich zum Ausdruck kommt:

- **„Technologies“** - Ein „angebotsorientierter“ Ansatz, worin existierende Softwarekonzepte und -komponenten aufgezählt werden:
  - Simulation und Optimierung
  - Geografische Informationssysteme und Datenbanksysteme
  - Integration von GIS und hydrologischen Modellen
  - Experten- und wissensbasierte Systeme
  - Werkzeuge zur Unterstützung der Entscheidungsfindung bei Mehrfachzielsetzungen
  - Benutzungsoberflächen
- **„Application and case studies“** - Ein „nachfrageorientierter“ Ansatz mit der Auflistung möglicher Anwendungsbereiche:
  - Flussgebietsmanagement
  - Regenwasserbewirtschaftung und Hochwasserschutz
  - Seen- und Talsperrenbewirtschaftung

- Gewässerverschmutzung aus diffusen Quellen
- Grundwasserbewirtschaftung
- Wasseraufbereitungs- und -versorgungssysteme
- Institutionelle Erfahrungen

Bei diesen beiden Ansätzen tritt ein Phänomen zu Tage, das durch folgende Bemerkungen [Rolf1998] unmissverständlich zum Ausdruck gebracht wird:

„Die Wirtschaftsinformatik hat in ihrer kurzen Geschichte einen beachtlichen Fundus an Verfügungswissen bereitgestellt. Dabei ist die Erarbeitung und Vermittlung von Orientierungswissen zu kurz gekommen. Die breite Diskussion um die Informationsgesellschaft bzw. um das, was als zukunftsfähige bzw. „Nachhaltige Entwicklung“ bezeichnet wird, eröffnet ihr die Chance, diese Defizite aufzuarbeiten. ... Unter Verfügungswissen ist das konstruktive und handwerkliche Wissen zu verstehen, das den Wirtschaftsinformatiker befähigt, funktionsfähige Algorithmen, Programme oder Informationssysteme zu entwickeln....Die Entwicklung von Softwaresystemen für Organisationen ist jedoch immer in einen doppelten Kontext eingebunden. Das führt über die Rolle des IT-Experten hinaus. Die qualitativ gute softwaretechnische Lösung ist zugleich vom Verstehen des Kontextes einer Organisation und der dort tätigen Menschen abhängig. Dazu braucht der IT-Experte Orientierungswissen: Also z.B. Wissen um die Einbindung von Technik in menschliche Kooperationszusammenhänge, Kenntnisse über mikropolitische Machtspiele, die den alltäglichen Aufbau und Einsatz von Macht in Organisationen begleiten etc. Dies wiederum hat Einfluss auf die Methoden- und Werkzeugentwicklung, hat also Auswirkungen auf das Verfügungswissen“

Diese gleichzeitige Berücksichtigung von **Verfügungswissen** (angebotsorientiert) und **Orientierungswissen** (nachfrageorientiert) wird in vielen DSS-Konzepten vernachlässigt. Obwohl in detaillierten Arbeitsschritten der Programmierung natürlich die Kenntnis der Werkzeuge im Vordergrund steht, muss doch bei der Konzeption ein vereinigendes Bild vorherrschen.

In der Veröffentlichung *Decision Support Systems (DSS) for river basin management* mit den Beiträgen zu einem internationalen Workshop, der von der Bundesanstalt für Gewässerkunde im April 2000 in Koblenz organisiert wurde, bringt der Artikel *Concepts of DSS systems* wesentliche Aspekte für die Konzeption und Realisierung von Decision Support Systemen auf den Punkt [HahnEng2000]. Das umfasst unter anderem eine Liste von Eigenschaften, deren Erfüllungsgrad die Qualität eines DSS zum Ausdruck bringt und gewissermaßen die Grundlage für die Aufstellung einer „Taxonomie“ bilden könnte. Diese Aufzählung beinhaltet folgende Stichworte: *Policy relevance, explorative learning, user friendliness, transparency, interactivity, integration, flexibility, correctness, completeness, abstraction level, performance, development cost, maintenance cost, collaboration, implementation*. Zudem werden in diesem Artikel kritische Faktoren genannt, die (a) hinsichtlich der Planung und Durchführung sowie (b) technischen Realisierung eines DSS für integrierte Flussgebietsbewirtschaftung unbedingt zu beachten sind, soll das Ganze zu einem erfolgreichen Abschluss führen.

Interessanterweise muss die Funktionalität von DSS nicht ausschließlich zur Unterstützung der Entscheidungsfindung dienen. Mit Hilfe der Analysewerkzeuge können analog zur Vorbereitung einer Entscheidung auch deren Konsequenzen untersucht werden, falls entsprechende Beobachtungen (Messungen) in digitaler Form aufgezeichnet werden und in den Datenbestand einfließen. Auf diese Weise wird gleichermaßen die Evaluierung von Entscheidungen unterstützt und es ergeben sich gute Perspektiven für eine kontinuierliche Abfolge von Aktivitäten, worin auf jeweilige Anforderungen oder

Defizite in zeitlich angemessener Weise reagiert werden kann. Die Notwendigkeit für diesen Ansatz wird u.a. begründet durch die Aussage in [KuK1999]:

„Auch dies verdeutlicht nachdrücklich, dass die Realisierung einer nachhaltigen Wasserwirtschaft keine kurzfristig zu lösende Aufgabe ist, sondern einen über viele Jahre kontinuierlich betriebenen und ständig weiterzuentwickelnden (Politik)prozeß erfordert.“

Zuguterletzt soll aufgrund der Tatsache, dass hin und wieder Missinterpretationen des Begriffs DSS zu beobachten sind, an dieser Stelle betont werden:

Decision Support System bedeutet NICHT „Entscheidungssystem“!

Der Akzent liegt eindeutig auf dem **Support**, d.h. der effektiven und effizienten Beschaffung von entscheidungsrelevanten Informationen. Inwiefern der oder die Entscheider sich in ihrem Urteil nach diesen Informationen richten, die nach Vorgabe von Bewertungskriterien durchaus auch in einer Rangliste und somit Bevorzugung von Lösungsalternativen bestehen können, liegt einzig und allein in deren Ermessen. Man kann es folgendermaßen ausdrücken: Der Computer nimmt einem nur dann die Entscheidung ab, wenn man es ihm „erlaubt“ und ihn darüber hinaus auch mit der Fähigkeit zum Handeln ausstattet.

## 3.2. Das Decision-Support-Konzept für die Praxis

Es besteht wohl kein Zweifel daran, dass die Identifikation geeigneter und akzeptabler Strategien eine überaus komplizierte Aufgabenstellung für die „Einzugsgebietsmanager“ bedeutet. Im Entscheidungsprozess (Abbildung 6), kann die Unterstützung naheliegenderweise in jedem dieser Schritte und durch unterschiedliche Methoden und Werkzeuge erfolgen.

Gemäß der Definition von [BreElam1986]

Decision Support Systeme (DSS) sind computergestützte Anwendungssysteme mit dem Zweck, Entscheidern bei der Bestimmung „guter“ Lösungen von i.a. „schwierigen“ Problemen zu helfen.

hat jeglicher **Decision Support** zum Ziel, die Durchführung der Arbeitsschritte (Abbildung 5, Abbildung 6) effektiver und effizienter zu gestalten. Die Computerunterstützung erfolgt durch die Bereitstellung von Informationen, die den Entscheidern ermöglicht, gute bzw. bessere Entscheidungen zu treffen, z.B. indem Defizite veranschaulicht oder die Konsequenzen von Maßnahmen abgeschätzt werden.

Die Nachfrage nach entscheidungsrelevanten Informationen bestimmt also die Konzeption des Decision Supports, d.h. der **nachfrageorientierte Ansatz** steht im Vordergrund.

### Wie gestaltet sich der „Decision Support“?

Es gab in den vergangenen Jahren in der Wasserwirtschaft gewiss eine Vielzahl von Programmentwicklungen, deren Ergebnis als *Decision Support System* vorgestellt wurde. Der Nutzen dieser Anwendungen soll an dieser Stelle absolut nicht in Frage gestellt werden. Da diese Anwendungen jedoch in den meisten Fällen nur bei der Bearbeitung relativ beschränkter Aufgabenstellungen helfen, muss indes die Frage erlaubt sein, inwiefern sie für die Unterstützung im Hinblick auf das

„Einzugsgebietsmanagement“ in Frage kommen. Kann man überhaupt angesichts der Komplexität der Aufgabenstellungen und benötigten Informationen erwarten, dass (in absehbarer Zukunft) ein spezielles *Decision Support System* eine dementsprechende Vielfalt an Funktionen beinhalten wird?

Wir kommen noch einmal zum generellen Aufbau eines DSS ([Lei2001a]), die von der Spezifikation in vorigem Kapitel (Abbildung 30) leicht abweicht und allgemeiner gehalten ist:

Prinzipiell baut das gesamte DSS auf einem Datenbestand auf: Ohne Daten keine Auswertung und keine Informationen! Dabei unterliegt dieser Datenbestand nur geringen Restriktionen; ständig können durch Messungen oder Simulationen neue Daten hinzukommen oder einzelne Objekte erhalten neue Attribute.

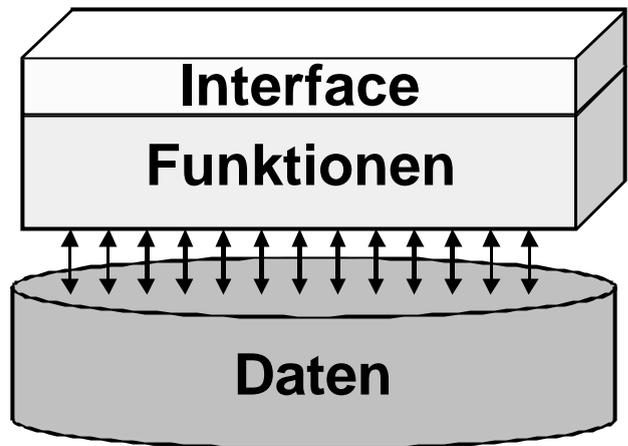


Abbildung 31: DSS-Aufbau (2)

Die Nutzung dieses Datenbestandes erfolgt durch die Funktionalität der Software. Diese wird in abstrakter Weise durch konkrete Fragestellungen des Anwenders bestimmt, z.B. im einfachen Fall: Zeige mir eine Liste aller Systemelemente von Typ A sortiert nach Attribut „Größe“. Die Fragestellungen können natürlich äußerst komplex sein, wenn z.B. eine Prognose des Verhaltens eines ganzen Einzugsgebiets unter Vorgabe definierter Änderungen („Maßnahmen“) gewünscht wird, wie es bei einer Szenarienrechnung der Fall ist. Deren Beantwortung erfordert im Allgemeinen eine Durchführung mehrerer Aktionen (Modelldatensatz erstellen und „kalibrieren“, Änderungen „einbauen“, simulieren, Ergebnisse anzeigen, Statistiken berechnen, etc.), die mit Hilfe der Funktionalität des DSS möglichst einfach durchzuführen sein sollen.

Schlussendlich erfolgen sämtliche Zugriffe auf die Funktionalität (und damit auf den Datenbestand) über das Interface, worin sowohl die Fragestellungen spezifiziert als auch die Ergebnisse dargestellt werden, etwa in Gestalt einer Tabelle, eines Diagramms oder einer Ganmlinie etc.

Festzuhalten ist, dass somit bei jeder Nutzung Daten, Funktionalität und Interface involviert sind und demzufolge hohe Anforderungen an die Abstimmung dieser Komponenten zu stellen sind. Dieser prozessorientierte Ansatz motiviert die Beurteilung eines DSS aus Anwendersicht, indem die „Beantwortbarkeit“ von deren Fragestellungen im Hinblick auf Effektivität und Effizienz als Qualitätskriterium herangezogen wird.

Mit Sicherheit muss man sich in dem komplexen Kontext „Einzugsgebietsmanagement“ von der traditionellen Vorstellung eines DSS entfernen, worunter aus historischen Gründen in der Regel eine eigenständige Computeranwendung verstanden wird. Das Konzept für „Decision Support“ muss für eine angemessene (nachfrageorientierte) Unterstützung der vielgestaltigen Entscheidungsprozesse umfassender formuliert werden. Es orientiert sich im Groben an der Frage: Welche Voraussetzungen sind für die Beschaffung von entscheidungsrelevanten Informationen erforderlich? Welche Funktionalität wird dazu benötigt?

## Aktuelle Entwicklung im Unternehmens-Management

Der Begriff *Business-Performance-Management* (BPM), beschreibt Methoden, Werkzeuge und Prozesse zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit und Profitabilität von Unternehmen. Neben den auf die Historie und die Gegenwart bezogenen Prozessen Analyse und Berichterstattung, die im Fokus der *Business-Intelligence* (BI) stehen, deckt BPM als Weiterentwicklung dieser Methodik auch zukunftsbezogene Prozesse wie Planung und Prognosen ab.

BPM darf man nicht mit als lose zusammengewürfelte Auswahl an Tools, Anwendungen und Technologien verstehen, sondern man muss es als eine komplexe, aber grundlegende Aufgabe der Zusammenführung von Informationen und Prozessen in einem konsistenten Gesamtkonzept ansehen {Wikipedia}.

Der Markt für BI und BPM ist eines der am schnellsten wachsenden Segmente der Software-Branche und es wird allgemein davon ausgegangen, dass sich dieser Trend fortsetzen wird.

Im vorliegenden Zusammenhang kann durchaus der Bezug zur Führung großer Unternehmen hergestellt werden, die einen vergleichbaren Grad der Komplexität im Hinblick auf die Bereitstellung entscheidungsrelevanter Informationen aufweisen, auf deren Basis diese ihre Leistungsfähigkeit und Profitabilität verbessert wollen. Insofern schließen wir uns den Ideen des BPM hinsichtlich eines konsistenten Gesamtkonzeptes an.

Im Grunde lässt sich der Komplex „Decision Support“ in drei maßgebliche Kategorien aufteilen:

- „**Data**“: Jegliche Art von Daten (streng genommen muss in diesem Zusammenhang von digitalen Daten gesprochen werden)
- „**Software**“: Programmanwendungen, die die notwendigen Funktionen bereitstellen, um die digitalen Daten zu analysieren, zu bearbeiten und darzustellen.
- „**User**“: Personen mit fundierter Kenntnis des Datenbestandes, der Bedienung der Software, um die Informationen überhaupt und in angemessener Weise extrahieren und präsentieren zu können.

Wir wählen für diesen Aufbau den Begriff **Decision Support Concept** (DSC), d.h.

**Decision Support Concept (DSC) = Data + Software + User**

In dem gegebenen Zusammenhang ist unter **DSC-IWRM** das **Decision Support Concept** für die **integrierte Bewirtschaftung der Wasserressourcen** zu verstehen.

Auf die einzelnen Aspekte wird im nachfolgenden etwas näher eingegangen, wobei Schwerpunkte auf die generelle Verfügbarkeit bzw. auf Verbesserungen der Funktionalität der Software gelegt wurden.

### 3.2.1. Die wichtigste Voraussetzung: Daten!

In den Erläuterungen zu Abbildung 31 wurde bereits betont: Der gesamte Decision Support erfolgt auf Basis des Datenbestandes - Ohne Daten keine Informationen!

Es sollte keiner besonderen Erwähnung bedürfen, dass die interessierenden Daten überhaupt in digitaler Form vorliegen müssen, um sie mit Hilfe der Computerwerkzeuge weiterverarbeiten zu können. Der potentielle Nutzen der Daten hängt von vielen Faktoren ab: In welcher Genauigkeit liegen die Daten (z.B. ein digitales Höhenmodell) vor? Und in welchem Format? Gibt es eine Formatbeschreibung? Können die Daten überhaupt verarbeitet werden? Oder müssen diese zuerst „konvertiert“ werden? Welcher Aufwand ist damit verbunden? Was kostet die Beschaffung der Daten? Wie aktuell sind diese?

In Zusammenhang mit dem Projekt WSM300 kann nur geringer Bezug auf Inhalte und Strukturen des notwendigen bzw. sinnvollen Datenbestandes genommen werden. Für eine Entscheidungsfindung können äußerst vielfältige Aspekte des Einzugsgebiets von Belang sein, die es mitunter in Modellen abzubilden, zu simulieren und anschließend auszuwerten gilt. Es sind aber nicht ausschließlich Daten zur Beschreibung der Sachverhalte im Einzugsgebiete von Belang, sondern jegliche digitale Datenbestände, die dabei helfen, den Prozess der Entscheidungsfindung effizienter zu gestalten. Ein Beispiel hierfür stellt der Zielvariablenkatalog dar, auf den bei Aufstellung der Entscheidungsmatrix interaktiv zugegriffen werden kann (siehe Anlage).

Die Frage nach den Möglichkeiten zur Bereitstellung relevanter Informationen ausgehend vom jeweiligen Datenbestand muss im jeweiligen Einzugsgebietskontext aufgrund der großen und weiterhin zunehmenden Vielfalt von Experten recherchiert und beantwortet werden.

### 3.2.2. Modularer Aufbau/Komponenten und Entwicklungsschwerpunkte im Projekt

Den Anteil „Software“ an dem DSC bezeichnen wir als **Decision Support Software Framework (DSSF)**. Die Überschrift des Kapitels deutet explizit darauf hin, dass an dieser Stelle eine nützliche (in aller Regel notwendige) Auswahl existierender Produkte bzw. Produkttypen vorgestellt und diskutiert wird, damit der Decision Support zufrieden stellend betrieben werden kann. Es wird in diesem Zusammenhang nicht diskutiert, wie die sachgerechte Gestaltung von Software mit den in der Informatik entwickelten Methoden zu erfolgen hat, damit die Produkte (Funktionalität und Interface) den hohen Anforderungen genügen.

Wie bereits angedeutet motivieren die wasserwirtschaftlichen Aufgabenstellungen im Einzugsgebiet sowie die Schritte im Entscheidungsprozess (Abbildung 6) zu der Auswahl einiger prinzipieller Softwarekomponenten, die die erforderliche Funktionalität zur Datenhaltung, -bearbeitung, -auswertung und -darstellung bereitstellen. Im Grunde sollte es möglich sein, eine Softwarekomponente eines bestimmten Typs durch ein vergleichbares Produkt eines anderen Herstellers zu ersetzen, wobei das in dem komplexen Kontext allerdings nur selten ohne Aufwand durchzuführen sein dürfte.

Darüber hinaus wurden im Projekt WSM300 einige gezielte Entwicklungen vorgenommen, um erkannte Defizite im Hinblick auf Effektivität und Effizienz in der Unterstützung der Entscheidungsprozesse zu beseitigen oder zumindest signifikante Verbesserungen zu erreichen. Sämtliche Arbeiten sind strikt an der praktischen und unmittelbaren Anwendbarkeit z.B. in den Aktivitäten des Gewässerbeirats orientiert.

**Rahmen für die Erstellung der Entscheidungsmatrix**

Das Ausfüllen der Entscheidungsmatrix allein erfordert angesichts der relativ simplen Struktur keinen außerordentlichen Funktionsumfang; prinzipiell wäre es durchaus möglich, als Basis hierfür ein Programm zur Tabellenkalkulation (z.B. Microsoft Excel) zu verwenden. Hilfreich ist in diesem Zusammenhang der interaktive Zugriff auf die Menge der verfügbaren Zielvariablen, die in einem digitalen Katalog strukturiert sind, und weitere Hintergrundinformationen zur Formulierung von Varianten, indem z.B. mögliche Maßnahmen erklärt werden und wie diese mit Hilfe von Modellen abgebildet werden können. In Kapitel 3.3 wird die im Projekt entwickelte webbasierte Prototypanwendung dargestellt.

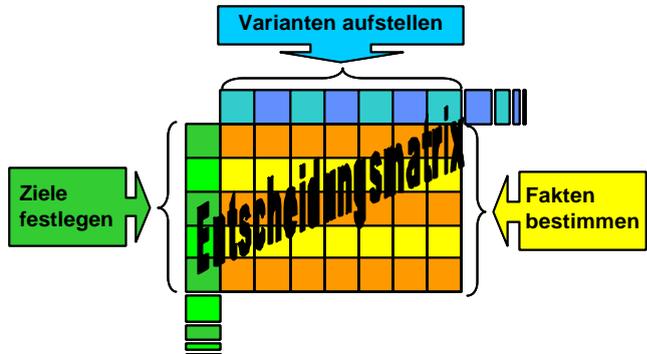


Abbildung 32: DSSF-Komponente Entscheidungsmatrix

**Geografisches Informationssystem (GIS)**

Die wichtigste Komponente in diesem Zusammenhang bildet wohl das Geografische Informationssystem (GIS), worin der bei weitem größte Teil der Daten zum Einzugsgebiet gespeichert werden kann. Zudem bietet das GIS zahlreiche Möglichkeiten zur Analyse und Darstellung dieser raumbezogenen Daten. Einige kurze Erläuterungen hierzu sind Kapitel 3.4 zu entnehmen.

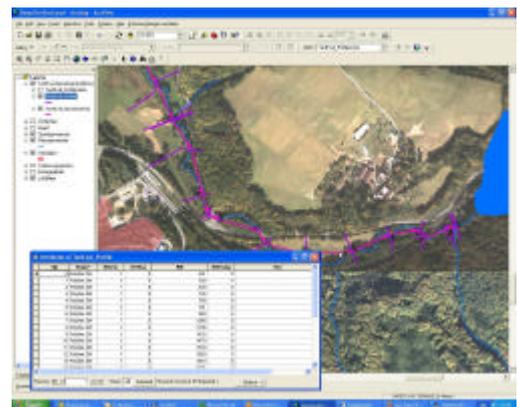


Abbildung 33: DSSF-Komponente GIS

**Software für Zeitreihenmanagement**

Ebenfalls von enormer Bedeutung sind Zeitreihen, die den zeitlichen Verlauf der interessierenden Zustandsgrößen beschreiben. Das betrifft sowohl gemessene als auch simulierte Parameter. Zwar haben auch Zeitreihen in nahezu allen Fällen einen geografischen Bezug, das GIS stellt jedoch (noch) nicht die zur Speicherung, Auswertung und Bereitstellung für Simulationszwecke dieser Daten notwendigen Funktionen zur Verfügung. Eine im Projekt weiterentwickelte Software für das Management von Zeitreihen wird in Kapitel 3.5 vorgestellt.

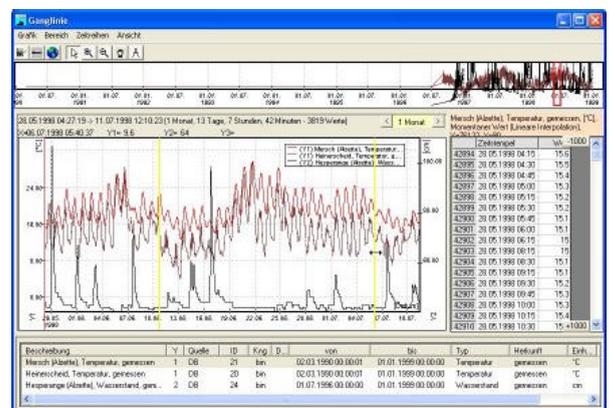


Abbildung 34: DSSF-Komponente Zeitreihenmanagement

### Statistische Auswertung

Die Bestimmung der „Fakten“ wird in vielen Fällen auf Basis der Ergebnisse von Simulationen durchgeführt werden. Beispielsweise können Maßnahmen zum Hochwasserschutz in einem Modell abgebildet und anschließend die zu erwartenden Abflussganglinien analysiert werden, um daraus die gewünschten Kenngrößen z.B. für ein Hochwasser mit definierter Jährlichkeit zu ermitteln. Vielfältige Ausprägungen von Zielvariablen oder die Bestimmung charakteristischer Kenngrößen erfordern die statistische Auswertung von gemessenen oder simulierten Zeitreihen. In dieser Hinsicht stehen mächtige Softwarewerkzeuge zur Verfügung, auf die in diesem Bericht kein detaillierter Bezug genommen wird.

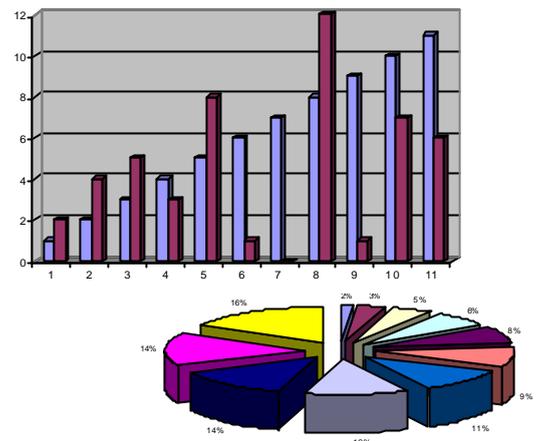


Abbildung 35: DSSF-Komponente Statistik

### Modelle

Im Grunde muss in diesem Zusammenhang präziser von „Computermodellen“ gesprochen werden, mit deren Hilfe die Auswirkungen vorgeschlagener Maßnahmenkombinationen simuliert und auf diese Weise deren Auswirkungen abgeschätzt werden. Die Simulationsergebnisse bilden wiederum die Ausgangsbasis zur Ermittlung von Zielvariablen, die charakteristische Zustandsgrößen im Einzugsgebiet beschreiben. Auf die überaus umfangreiche Welt der Modelle wird in Kapitel 3.6 kurz eingegangen. Es wird bereits an dieser Stelle ausdrücklich betont, dass im Projekt WSM300 keine Modellentwicklungen durchgeführt wurden, sondern lediglich einige ausgewählte Anwendungen in den Fallstudien zum Einsatz kamen.

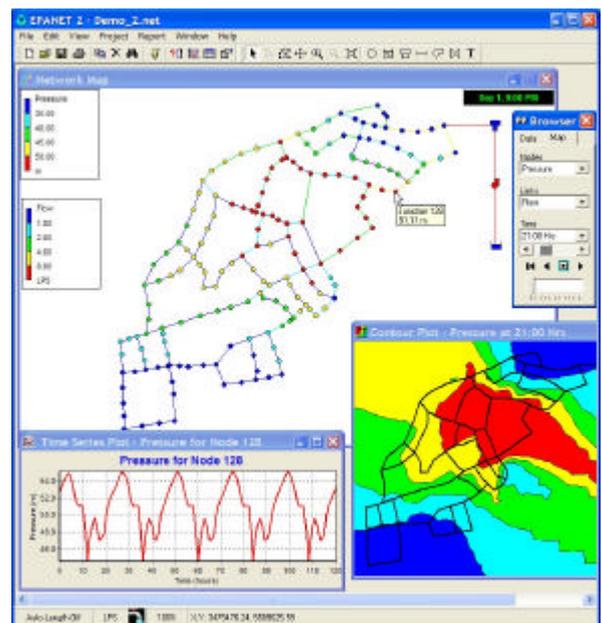


Abbildung 36: DSSF-Komponente Modelle

### Multikriterielle Analyse

Die „eigentliche“ Entscheidungsunterstützung erfolgt durch Anwendung eines multikriteriellen Verfahrens, wobei der Inhalt der Entscheidungsmatrix die Ausgangsbasis zur Aufstellung einer „Rangliste“ und zur Bestimmung wünschenswerter Maßnahmenvarianten bildet. Aus der Vielzahl multikriterieller Verfahren wurde insbesondere die Nutzwertanalyse in einem einfach zu bedienenden Softwarewerkzeug auf Basis von Microsoft Excel implementiert, das in Kapitel 3.7 kurz beschrieben wird.

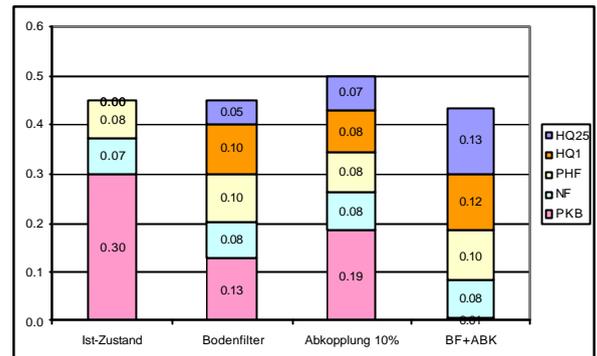


Abbildung 37: DSSF-Komponente Bewertung

### Sonst

Zu nennen ist weiterhin „Basissoftware“, die generell für den Einsatz der gerade genannten Softwaretypen erforderlich sind oder eine wichtige Grundlage für viele andere Anwendungen bildet. Dazu zählen wir beispielsweise ein Betriebssystem oder auch ein Datenbanksystem.

Dann gibt es gewiss noch viele weitere Softwarekomponenten, die für eine zufrieden stellende Bereitstellung entscheidungsrelevanter Informationen zur Anwendung kommen sollten. Indes werden an dieser Stelle keine vertiefenden Aussagen etwa zu „Office“-Anwendungen, Dokumentenverwaltung, Abrechnungssystemen, Web-Publishing u.a. getätigt.

Abbildung 38 soll auf einfache Weise den grundlegenden Aufbau des nicht auf den User bezogenen Anteils am Decision Support verdeutlichen.

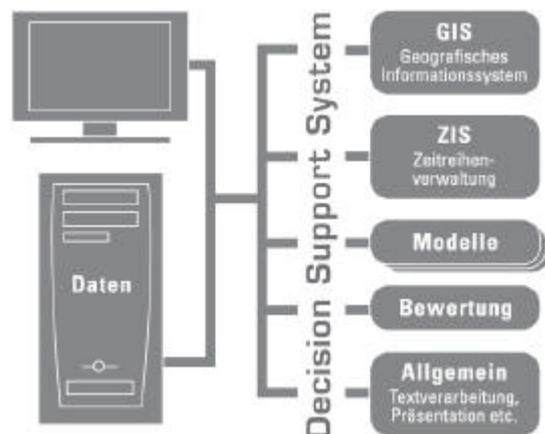


Abbildung 38: DSSF-Komponenten

### 3.2.3. Die DSC-Komponente „User“

Die „traditionelle“ Sicht des Decision Support ist im Grunde auf die Entwicklung eines Decision Support Systems im Sinne eines eigenständigen Softwareproduktes fokussiert. Naheliegenderweise kann die Unterstützung dabei nur im Rahmen der Funktionalität des Produktes stattfinden. Ein großer „Entscheidungsraum“ und eine hilfreiche Darstellung erfordern eine dementsprechende Komplexität der Computeranwendung.

Als Beispiel halte man sich den vorliegenden WSM300-Abschlussbericht vor Augen. Es bedarf einer umfassenden Textverarbeitung (*Microsoft Word*) und natürlich entsprechendes Bedienungs-Know-how um ein Dokument in diesem Format zu erstellen.

Um wie viel komplexer gestaltet sich die ganzheitliche Betrachtung und Analyse der Situation in einem Einzugsgebiet mit dem Durchspielen und dem Bewerten von denkbaren Maßnahmenkombinationen. Diese Aufgabenstellung erfordert -um die notwendige Bandbreite abdecken und die gewünschten entscheidungsrelevanten Informationen ermitteln zu können- ein entsprechend komplexes „Werkzeugarsenal“, dessen Bedienung um ein vielfaches anspruchsvoller sein dürfte als der Umgang mit einem Textverarbeitungsprogramm.

In diesem Bewusstsein muss klar werden, dass der „Bedienungsprofi“ eine ausgewiesene und maßgebliche Komponente im Decision Support Concept bildet. Allerdings soll an dieser Stelle keine nähere Spezifikation von dessen Fertigkeiten und Kompetenzen gegeben werden.



Quelle MS-Office Clipart

Abbildung 39: DSC-Komponente „User“

### 3.3. Entscheidungsmatrix aufstellen

Den Rahmen für den Gesamtprozess zur Unterstützung der Entscheidungsfindung bildet die so genannte **Entscheidungsmatrix**, deren Bedeutung in den Kapiteln 2.4ff ausführlich beschrieben wurde. Sie gibt im Grunde einen „roten Faden“ vor und bildet die Grundlage zur Moderation der Entscheidungsprozesse.

Die Softwarelösung zur Erstellung und Bearbeitung einer derartigen Matrix stellt im Grunde eine recht überschaubare Aufgabe dar. Es müssen Zielvariablen (Zeilen) und Varianten (Spalten) der Matrix spezifiziert und die Fakten in die Zellen eingetragen werden können.

Im Projekt WSM300 wurde hierfür eine webbasierte Anwendung mit Zugangsschutz erstellt, um eine möglichst allgemeine Anwendbarkeit zu schaffen. Das ermöglicht insbesondere, dass mehrere Instanzen in die Bestimmung von Fakten involviert sein und die Ergebnisse unabhängig voneinander in die Matrix können. Sämtliche Angaben zu der Entscheidungsmatrix werden in einer MySQL-Datenbank gespeichert.

Die Anwendung ist unter der Internetadresse [www.pankis.de](http://www.pankis.de) zu erreichen und steht nach dem Login unter dem Menüpunkt *Decision Support/Entscheidungsmatrix* zur Verfügung. Der „Screenshot“ in Abbildung 40 verdeutlicht die Gestalt einer Matrix für ein gegebenes Untersuchungsprojekt.

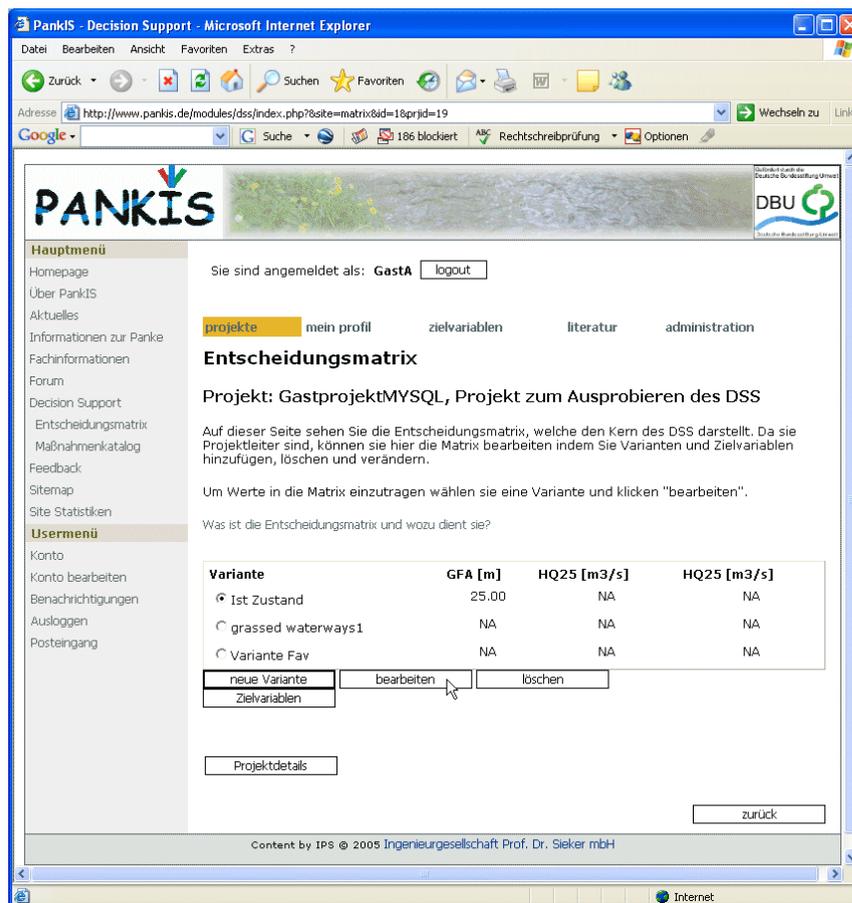


Abbildung 40: DSSF-Anwendung „Entscheidungsmatrix aufstellen – webbasiert“

Diese Anwendung besitzt Pilotcharakter. Es stehen nicht das Design und die Bedienerfreundlichkeit der Software im Vordergrund, sondern es ist primär von Interesse, die oben genannten Bearbeitungsfunktionen überhaupt ausführen zu können, wobei bereits einige Grundprinzipien erfüllt sind. Mit Sicherheit werden sich aus der praktischen Anwendung heraus im Hinblick auf Funktionalität und Bedienung etliche Modifikationen und Verbesserungen ergeben. Insbesondere ist in der vorliegenden Version zu bemerken, dass nicht in Übereinstimmung mit den bisherigen Ausführungen die Zielvariablen in den Spalten und die Varianten in Zeilen stehen.

Eines der zuvor angedeuteten Prinzipien besteht darin, zur Spezifikation einer Zielvariablen interaktiv auf den diesbezüglich implementierten Katalog zugreifen zu können und aus der Liste das gewünschte Element wählen zu können. Die Anlagen zu diesem Bericht enthalten den umfangreichen Inhalt des Zielvariablenkatalogs. Der „Screenshot“ in Abbildung 41 zeigt, wie die in der Webanwendung gespeicherten Zielvariablen aufgelistet werden.



Abbildung 41: DSSF-Anwendung „Entscheidungsmatrix aufstellen“ – Zugriff auf den Zielvariablenkatalog

Durch simples „Ankreuzen“ der gewünschten Zielvariablen wird diese übernommen und eine Spalte (Zeile) in der Entscheidungsmatrix angelegt.

Ähnlich einfach wie die Spezifikation von Zielvariablen ist das Anlegen von Varianten in der Entscheidungsmatrix. Im Grunde ist lediglich eine sinnvolle Bezeichnung einzugeben, denn die Vielzahl der Möglichkeiten für Maßnahmen und deren Kombination erfordert zusätzliche Programmieranstrengungen, um einen direkten Bezug aus der Entscheidungsmatrix heraus auf den Maßnahmenkatalog herzustellen. Die genaue Spezifikation der Variante ist demgemäß separat zu dokumentieren. Abbildung 42 zeigt, wie die Bearbeitung einer Variante in der Browseroberfläche stattfindet.

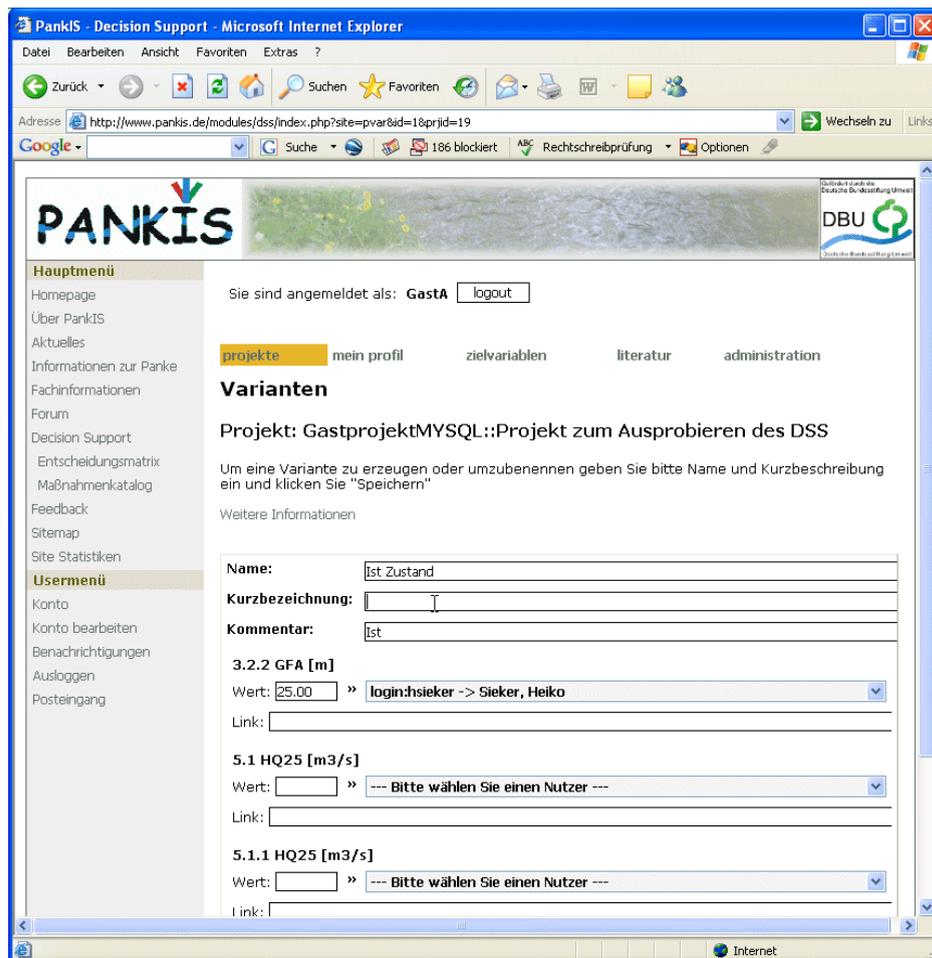


Abbildung 42: DSSF-Anwendung „Entscheidungsmatrix aufstellen“ – Maßnahmenvariante

In diesem Fenster erfolgt im Anschluss an die Untersuchungen auch die manuelle Eingabe der Fakten, d.h. welche Werte die Zielvariablen für diese Variante annehmen.

In den meisten Fällen erfordert die Bestimmung der Fakten einen erheblichen Aufwand. Soll z.B. ein Bündel von Maßnahmen im Hinblick auf den Hochwasserschutz studiert werden, sind zunächst diese Maßnahmen in einem oder mehreren Modellen abzubilden, Simulationen durchzuführen, aus den Abflüssen Wasserstände zu berechnen, Überschwemmungsflächen zu ermitteln und daraus Schadenspotentiale zu bestimmen. Bei einer beispiellosen Vielzahl vorstellbarer Maßnahmenkombinationen und notwendigen Arbeitsschritten ist nicht vorstellbar, dass dieser Vorgang

ausgehend von der allgemeinen Spezifikation einer Variante auch nur annähernd zu automatisieren ist.. Vielmehr erfordert es einen routinierten Umgang mit den Computerwerkzeugen, um eine realitätsgerechte Berechnung durchzuführen und ein plausibles Resultat zu erzielen.

Die Matrix ist Ausgangsbasis für die vergleichende Bewertung der Varianten. Welches Tool hierfür verwendet wird, hängt ab von dem zu verwendenden Verfahren und bleibt dem Anwender überlassen. Aus der webbasierten Anwendung erfolgt die Bereitstellung der Matrix in XML-Format, so dass die Voraussetzungen für einen automatisierten Ablauf gegeben sind. Das ebenfalls im Rahmen dieses Projektes entwickelte Werkzeug zur Durchführung der Nutzwertanalyse (siehe 3.7) verfügt über eine Schnittstelle zum Einlesen dieser Daten. Der prinzipielle Ablauf ist in Abbildung 43 dargestellt.

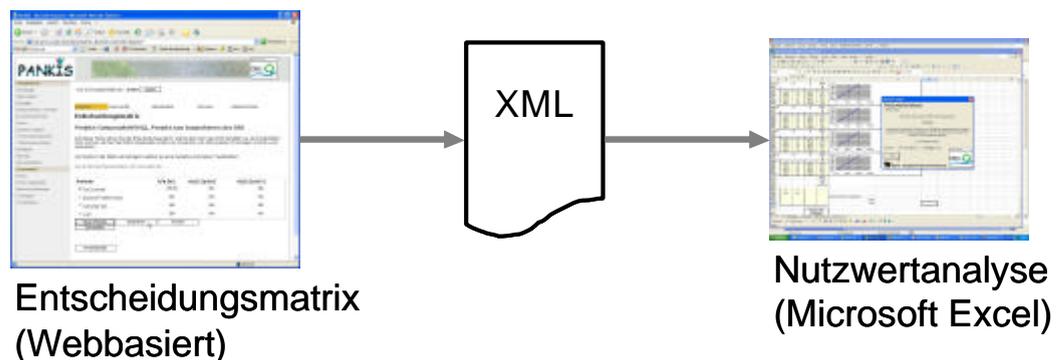


Abbildung 43: DSSF-Kombination: *Entscheidungsmatrix* zu *Bewertung*

### 3.3.1. Maßnahmenkataloge

Zur Erfüllung der vielen unterschiedlicher Aufgabenstellungen in der Wasserwirtschaft steht dem Planer eine immense Fülle von Maßnahmen zur Verfügung. Nur der Experte kann im Vorfeld einigermaßen abschätzen, welche Maßnahmenkombinationen in einer gegebenen Situation zum Erreichen gegebener Zielsetzungen realistischerweise in Frage kommen und somit Hinweise zur Formulierung von Maßnahmenvarianten geben, die in die Spalten der Entscheidungsmatrix einfließen. Aber selbst dieser benötigt eine Übersicht, um sämtliche in Frage kommenden Maßnahmen berücksichtigen und deren prinzipiellen Einsatz sinnvoll planen zu können. Maßnahmenkataloge sind bei dieser Tätigkeit eine wichtige Unterstützung, wenn sie die charakteristischen Merkmale von Maßnahmen beschreiben und Informationen enthalten, in welchen Simulationsmodellen sie abgebildet werden können. Darüber hinaus helfen sie bei der Erläuterung der Sachverhalte in der Entscheiderrunde.



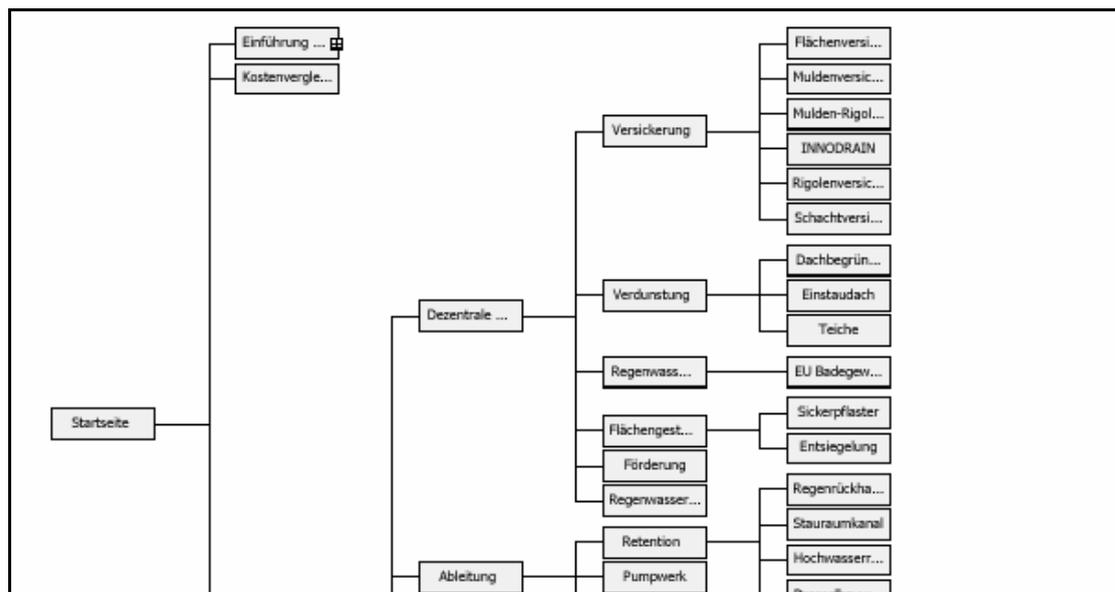


Abbildung 46: Auszug aus der Struktur des Maßnahmenkatalogs „Siedlungswasserwirtschaft“

### 3.3.2. Zielvariablenkatalog

Der ausführliche Zielvariablenkatalog, der detaillierte Informationen zu den einzelnen Zielvariablen enthält, wird als Anlage zu diesem Bericht zur Verfügung gestellt. Auf die Übersicht des Zielvariablenkatalogs (Abbildung 12) kann auch in der webbasierten Anwendung zur Aufstellung der Entscheidungsmatrix (3.3) interaktiv zugegriffen werden.

Bei der Entwicklung des Zielvariablenkatalogs wurde von den übergeordneten, allgemeinen Zielsetzungen (z.B. Gewässerschutz, Grundwasserschutz, Hochwasserschutz, Siedlungsentwässerung, Trinkwassergewinnung, Badenutzung, Fischerei, Bodenschutz, ...) ausgegangen (Abbildung 12). Diese hängen teilweise von den Nutzungen im Einzugsgebiet ab. Viele dieser übergeordneten Ziele werden durch EU-Richtlinien, Gewässerklassifizierungssysteme (z.B. der LAWA-Gewässergüte), Gesetze und technische Regelwerke (z.B. DIN-EN, ATV-Arbeitsblätter) näher spezifiziert. Diese wurden bei der Entwicklung des Zielvariablenkatalogs berücksichtigt.

Zur Bewertung des guten ökologischen Zustandes der Gewässer ist insbesondere die EU-Wasserrahmenrichtlinie von Bedeutung. Sie erfolgt dort vor allem durch biologische Parameter (Zusammensetzung und Abundanz der Gewässerflora, der benthischen wirbellosen Fauna und der Fischfauna). Diese lassen sich jedoch nur sehr schlecht prognostizieren (modellieren), was sie für den Einsatz in der Planung eher ungeeignet macht. Daher wurden stellvertretend hydraulische, physikalisch-chemische und morphologische Zielvariablen entwickelt. Wenn diese Zielvariablen gute Werte aufweisen, ist das Erreichen des guten ökologischen Zustandes sehr wahrscheinlich. Die WRRL sieht entsprechende Größen als Ergänzung zur biologischen Bewertung ebenfalls vor. In Abbildung 48 ist dargestellt, wie sich Hauptgruppe „1 - Ökologischer und chemischer Zustand des Gewässers und seines Umfeldes“ des Zielvariablenkatalogs (Abbildung 47) in die WRRL einfügt.

Bei Betrachtung der Zielvariablen fällt auf, dass für einige Parameter Konzentrationen und für andere Frachten verwendet werden. Niedrige Sauerstoff- oder hohe Ammoniakkonzentrationen (fischtoxisch) führen zu akuten Problemen im Gewässer. Daher bewerten die entsprechenden Zielvariablen die

aktuellen Konzentrationen im Gewässer. Die Nährstoffe Phosphor und Stickstoff führen nicht zu akuten Problemen im Gewässer, haben jedoch einen langfristigen Effekt in Seen und marinen Gewässern durch den Prozess der Eutrophierung. Schwermetalle haben ebenfalls einen Langzeiteffekt, da sie im Ökosystem akkumuliert werden. In der Regel treten im Gewässer jedoch keine akut toxischen Konzentrationen auf. Daher beziehen sich diese Zielvariablen auf Frachten. Die Aggregation der Modellergebnisse zu einem Wert für die Zielvariablen gestaltet sich bei den Frachten einfach, da es sich bereits um einen einzelnen Wert (Fracht am Auslass des Einzugsgebietes oder Fracht am Zufluss in einen See) handelt. Für die Zielvariablen, die sich auf Konzentrationen beziehen, ist die Aggregation aufwendiger, da es sich um umfangreiche Datensätze, i.d.R. Zeitreihen in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung, handelt.

Der Zielvariablenkatalog wurde zunächst ausgehend von der Fallstudie Panke (Kap. 4) entwickelt, dann in den Fallstudien Saldenbach (Kap. 5) und Modau (Kap. 6) diskutiert und ergänzt.

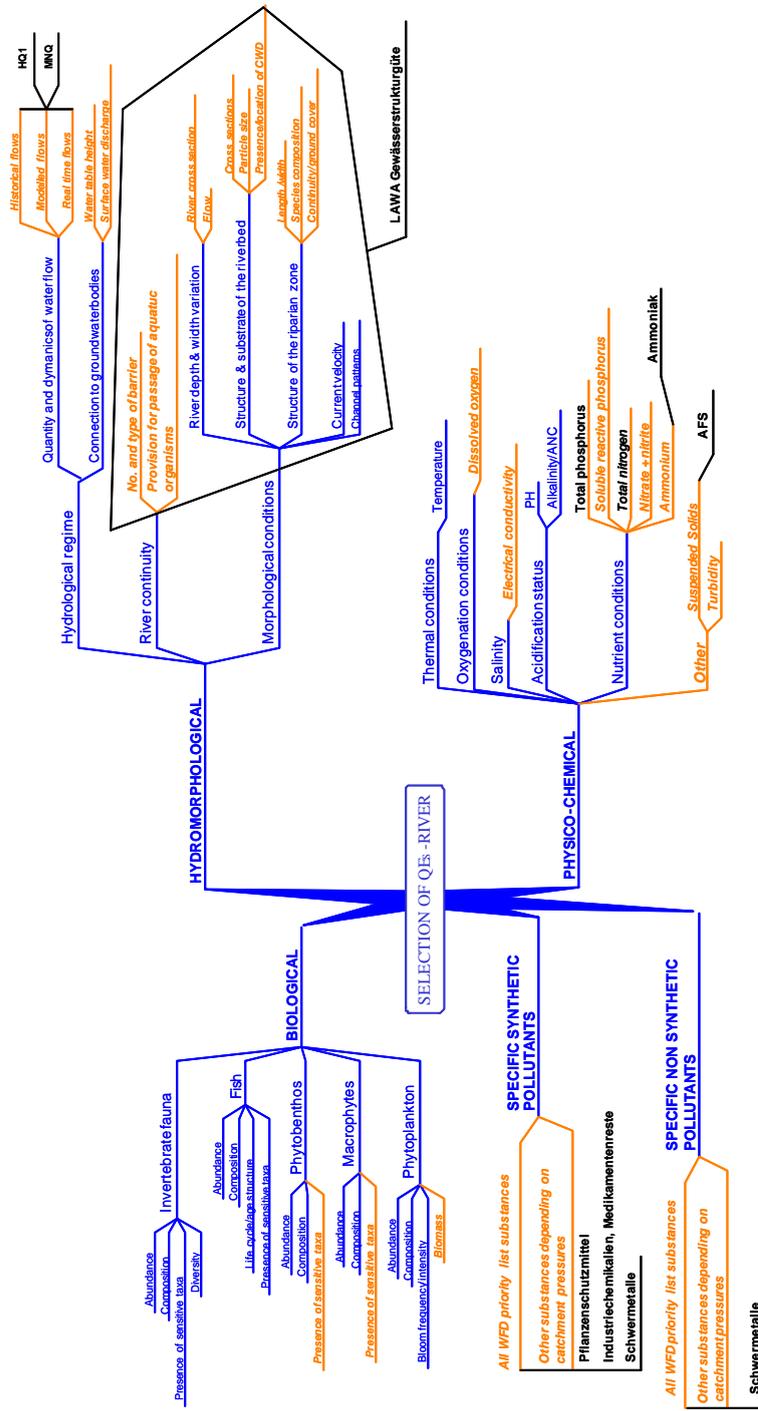
Bei der Entwicklung ging es darum, eine möglichst kompakte Auswahl aus der Vielzahl möglicher Zielvariablen zu treffen. Dabei sollten weder wichtige Ziele vernachlässigt, noch Ziele mehrfach repräsentiert werden.

Nicht alle enthaltenen Zielvariablen

- 1. Ökologischer und chemischer Zustand des Gewässers und seines Umfeldes**
  1. Hydrologie
    1. HQ<sub>1</sub> (Abweichung vom potentiell natürlichen Zustand) [%]
    2. MNQ (Abweichung vom potentiell natürlichen Zustand) [%]
    - 2.a. Mindestwasserführung in Ausleitstrecken (Wasserkraft)
  2. Physikalisch-chemische Größen
    1. Sauerstoffkonzentration, 9-er Matrix [mg/l]
    2. Phosphorfracht (Gesamt-P), ggf. abflussbezogen [kg/a o. mg/l]
    - 2.b. Phosphorkonzentration im stehenden Gewässer [kg/a o. mg/l]
    3. Stickstofffracht (Gesamt-N), ggf. abflussbezogen [kg/a o. mg/l]
    4. Ammoniakkonzentration (NH<sub>3</sub>-N), 9-er Matrix [mg/l]
    - 4.b. Ammoniumkonzentration (NH<sub>4</sub>-N) in der Trinkwassertalsperre [mg/l]
    5. Abfiltrierbare Stoffe (AFS) - Fracht, ggf. abflussbezogen [kg/a o. mg/l]
    6. Schwermetallfrachten, ggf. abflussbezogen [kg/a o. µg/l]
    7. Pflanzenschutzmittel
    8. Frachten von Industriechemikalien, Medikamentenreste u.a., ggf. abflussbezogen [kg/a o. µg/l]
    - 8.a. Endokrin wirksame Substanzen, stellvertretend 17α-Ethinylestradiol [kg/a o. µg/l]
    - 8.b. Arzneimittelwirkstoffe, stellvertretend Carbamazepin [kg/a o. µg/l]
    - 8.c. Prioritäre Stoffe gemäß WRRL [kg/a o. µg/l]
    9. Mikrobiologische Parameter (Krankheitserreger)
  3. Morphologie
    1. Gewässerstrukturgüte (LAWA) [-]
  4. Sonstige
    1. Zulaufmenge Karower Teiche [m<sup>3</sup>/s]
  5. Emissionsorientierte Zielvariablen
- 2. Mengenmäßiger, physikalischer und chemischer Zustand des Grundwassers und Bodens**
  1. Grundwasserquantität
    1. Abweichung vom natürlichen Wasserhaushalt [%]
  2. Grundwasserqualität
    1. Stofffrachten in das Grundwasser [kg/(ha\*a)]
    - 1.a. Stickstofffracht in das Grundwasser [kg/(ha\*a)]
    - 1.b. Schadstofffrachten (u.A. Schwermetalle) in das Grundwasser [kg/(ha\*a)]
    - 1.c. Pflanzenschutzmittelfrachten in das Grundwasser [kg/(ha\*a)]
  3. Boden
    1. Schadstofffrachten (z.B. Schwermetalle) in den Boden [kg/(ha\*a)]
    2. pH-Wert des Bodens [-]
    3. Erhalt der Bodenfruchtbarkeit
    - 3.a. Bodenerosion [t/(ha\*a)]
    - 3.b. Nährstoffversorgungsstufe (VST) des Bodens [-]
- 3. Nutzungsansprüche des Menschen**
  1. Hochwasserschutz
    1. HQ<sub>x</sub>, x=50 [m<sup>3</sup>/s]
    2. Vorgehaltenes Freivolumen in Talsperren [m<sup>3</sup>]
  2. Entwässerungskomfort
    1. Überstauhäufigkeiten für Schächte nach DIN EN 752 bzw. ATV A118 [1/a]
    2. Grundwasserflurabstand [m]
  3. Naherholung
    1. Punktzahl in Abhängigkeit von Flächengröße, Erholungswert, Erreichbarkeit [-]
  4. Trinkwassergewinnung
    1. Mindestfüllvolumen in Talsperre [m<sup>3</sup>]
  5. Wasserkraftnutzung
    1. Jahresenergiegewinn [kWh/a]
  6. Sonstige
    1. Zulaufmenge Oberflächenwasseraufbereitungsanlage (OWA) Tegel [m<sup>3</sup>/s]
    2. Speisung der Südpanke [m<sup>3</sup>/s]
- 4. Ökonomie**
  1. Projektkostenbarwert [1000 €]
    - 1.a. Öffentliche Hand
    - 1.b. Bürger
    - 1.c. Unternehmen (Wasserver- und -entsorger)

Abbildung 47: Zielvariablenkatalog – Überblick“

finden im Projekt Anwendung (wie z.B. 1.2.9. Mikrobiologische Parameter), da eine Bestimmung der Werte im Rahmen des Projektes zu aufwendig gewesen wäre. Dennoch wurden sie in den Katalog aufgenommen, da sie prinzipiell wichtige Ziele repräsentieren.



Legend: Mandatory QE specified in Annex V.1.2 Recommended QE

Verwendete Zielgrößen

Quelle: [WFD2003], um die Zielvariablen der Hauptgruppe 1 ergänzt

Abbildung 48: Zuordnung der Zielvariablen zu den Qualitätskomponenten der WRRL für den ökologischen Zustand von Fließgewässern

## 3.4. Geografisches Informationssystem

Der maßgebliche Teil der Daten für die Bearbeitung wasserwirtschaftlicher Aufgabenstellungen hat geografischen Bezug. Demgemäß ist als zentrale Softwarekomponente für den Decision Support das *Geografische Informationssystem* (GIS) zu nennen, das laut [Bartelme1995]

der Erfassung, Speicherung, Analyse und Darstellung aller Daten, die einen Teil der Erdoberfläche und die darauf befindlichen technischen und administrativen Einrichtungen sowie geowissenschaftliche, ökonomische und ökologische Gegebenheiten beschreiben,

dient, oder nach [Bill1994] folgendermaßen definiert ist:

Ein Geo-Informationssystem ist ein rechnergestütztes System, das aus Hardware, Software, Daten und den Anwendungen besteht. Mit ihm können raumbezogene Daten digital erfasst und redigiert, gespeichert und reorganisiert, modelliert und analysiert sowie alphanumerisch und graphisch präsentiert werden.

Während die erste Definition ausschließlich auf die prinzipielle Funktionalität der Software Bezug nimmt, wird in der Definition von *Bill* die spezifische Implementierung mit einem gegebenen Datenbestand beschrieben. Es ist häufig zu beobachten, dass der Begriff GIS sowohl für *GIS-Software* als auch für *GIS-Projekte* verwendet wird. Unter *GIS-Projekt* versteht man alles, was für digitales raumbezogenes Arbeiten notwendig ist, also Hardware, Software und vor allem Daten und Organisationsformen. Die *GIS-Software*, ist dabei lediglich das Werkzeug, mit dem die Daten im Sinne der ersten Definition erfasst, verwaltet, analysiert, fortgeführt und präsentiert bzw. ausgegeben werden. Sie kann dabei in der Regel auf unterschiedliche Speicherformate und Datenquellen zugreifen und ist nicht notwendig auf z.B. eine Datenbanksoftware beschränkt.

Geografische Informationssysteme haben in den vergangenen zehn Jahren infolge der Ausgereiftheit der Software und zunehmender Verfügbarkeit von Daten mit geografischem Bezug eine enorme Verbreitung und Bedeutung erlangt und sind in vielen Anwendungsbereichen nicht mehr wegzudenken. Auch weiterhin herrscht eine sehr große Dynamik hinsichtlich Weiterentwicklungen und das „Ende der Fahnenstange“ ist mit Sicherheit lange noch nicht erreicht. Beispielsweise bieten sich im Hinblick auf die dreidimensionale Darstellung der Erdoberfläche noch erhebliche Potenziale.

*GIS-Software* inklusive der Speichermöglichkeiten bietet folgende Voraussetzungen:

- Verwaltung der meisten Daten zum Einzugsgebiet (Bestand erfassen und verwalten)
- Angemessene Darstellung (Karten, Farbsymbolik etc.)
- Auswertungen mit „Standard“-Funktionalität (Überlagerung, Verschneidung etc.)
- (in der Regel) Fachspezifische Erweiterungen (Fachschalen)
- Datenaustausch in Standardformaten
- Dadurch Perspektiven zur Kopplung mit anderen Anwendungen (Modelle, Zeitreihenverwaltung)
- Verbreitung von Informationen über das Internet (WebGIS; siehe 0)

Eine beträchtliche Menge entscheidungsrelevanter Informationen lässt sich bereits allein aus der Nutzung eines GIS ermitteln, welches durch die anschauliche Präsentation der Daten in Karten und die Standardfunktionalität (z.B. durch interaktives Ein- und Ausblenden von Layern u.v.m.) ermöglicht wird.

Genau wie der Komplex *Computermodelle* (3.6) war auch *GIS-Software* in dem Projekt WSM300 kein direkter Gegenstand von Untersuchungen. Es wurden keine expliziten Weiterentwicklungen durchgeführt oder entsprechende Konzepte aufgestellt, sondern lediglich Möglichkeiten für den Einsatz von GIS genannt und genutzt, indem z.B. das *WebGIS* in der Fallstudie Saidenbach realisiert wurde (siehe Kapitel 5.7 und [www.smul.sachsen.de/wsm300/](http://www.smul.sachsen.de/wsm300/)). Ebenso stammen viele Abbildungen zu den Fallstudien in diesem Bericht aus digitalen Karten, die mit Hilfe einer GIS-Software dargestellt wurden.

Im Hinblick auf den Decision Support führt jedenfalls kein Weg am GIS vorbei!

Die Anwendungsbereiche und Perspektiven für die Nutzung von GIS sind äußerst vielfältig, so dass auch hier der versierte Experte gefragt ist, der im Gewässerbeirat die notwendige und mögliche Unterstützung liefern kann und liefert. Der Fachmann sollte wissen, wo notwendige und nützliche Daten zu beschaffen sind und wie darauf zugegriffen wird. Im Laufe der Tätigkeiten entsteht somit ein umfassendes *GIS-Projekt*, wobei die Wahl der *GIS-Software* keine grundlegende Rolle spielt. Hierfür stehen eine Anzahl qualitativ hochstehender Produkte verschiedener Hersteller zur Verfügung, wobei keine ausdrückliche Empfehlung für die Wahl eines Programms ausgesprochen werden kann.

## 3.5. Zeitreihenmanagement

Das Geografische Informationssystem bietet die Funktionalität zur Erfassung, Speicherung, Analyse und Darstellung raumbezogener Daten. In der Regel herrscht dabei das Denken in „Layern“ vor. Ein Layer beinhaltet ausgewählte Zustandsgrößen einer Menge „gleichartiger“ Objekte mit geografischem Bezug und kann in einer Karte dargestellt werden. Diese Objekte können z.B. Polygone sein, die ein Einzugsgebiet überdecken oder Punkte, die Pegel in einem Gewässersystem repräsentieren. Während jedoch die geografische Referenz oder z.B. die Flächengröße des Polygons eine invariante Zustandsgröße ist, gibt es andere Zustandsgrößen, die einer zeitlichen Veränderung unterliegen, wie es beispielsweise für den Wasserstand an einem Pegel der Fall ist. Das Layer kann indes lediglich einen einzigen Wert zu einem gegebenen Zeitpunkt beinhalten. Ein GIS ist gemäß dem heutigen Stand der Technik demzufolge (noch) nicht für die Verwaltung von zeitlich veränderlichen Zustandsgrößen geeignet.

Ohne Zweifel bilden diese „zeitlichen Verläufe“ von Zustandsgrößen eine überaus wichtige Grundlage für die wasserwirtschaftliche Planung und Entscheidungsfindung. Mit Hilfe entsprechender Maßnahmen will man erreichen, dass ein System seine gewünschte Funktion erfüllt als auch die Nachhaltigkeit gewährleistet ist. Investitionen werden nicht selten für einen Zeitraum von 50 Jahren und mehr getätigt, wie es beispielsweise für Kanalsysteme oder Talsperren der Fall ist. Diese langen Zeiträume erfordern eine sorgfältige und vorausschauende Planung, damit die Anstrengungen zu den definierten Zielen führen und das Geld sinnvoll angelegt ist. Bei derartiger Planung sind die räumliche und zeitliche Verteilung des Wasserdargebots sowohl in quantitativer als auch qualitativer Hinsicht zu berücksichtigen, was zweifelsohne eine profunde Kenntnis der Dynamik des Systems erfordert. Der in der Vergangenheit beobachtete Verlauf der relevanten Belastungs- und Zustandsgrößen bildet hierfür eine wichtige Grundlage. Insofern besteht sowohl für den operationellen Betrieb als auch für strategische Betrachtungen die Notwendigkeit, die gemessenen Größen als wichtige Informationsbasis für die Planung als auch nachträgliche Bewertung von wasserwirtschaftlichen Aktivitäten verfügbar zu machen.

### 3.5.1. Zeitreihen

#### 3.5.1.1 Einige Grundüberlegungen

Beobachtete Zeitreihen gelten oft als Realisierungen von stochastischen Prozessen. Ein stochastischer Prozess beschreibt die Zufallsstruktur oder das zeitliche Muster von Größen, die mit momentanen bis langfristig wirkenden Zufälligkeiten behaftet sind.

Die *Zeitreihenanalyse* als Disziplin, die sich mit der mathematisch-statistischen Analyse von Zeitreihen und der Vorhersage ihrer künftigen Entwicklung beschäftigt [SchliStreit1991], hat in Hydrologie und Wasserwirtschaft eine lange und bedeutsame Tradition [BoxJen1994] und ist Bestandteil jeder hydrologischen Ausbildung. Ihre Ziele sind z.B.

- die kürzestmögliche Beschreibung einer historischen Zeitreihe,
- die Identifikation eines geeigneten Modells für die Zeitreihe,
- die Vorhersage von künftigen Zeitreihenwerten (Prognose) auf der Basis der Kenntnis ihrer bisherigen Werte (Wettervorhersage),
- die Erkennung von Veränderungen in Zeitreihen,
- die Eliminierung von seriellen Abhängigkeiten oder Trends in Zeitreihen, um einfache Parameter wie Mittelwerte verlässlich zu schätzen.

Bei der Zeitreihenanalyse stehen die Aufdeckung von Zusammenhängen innerhalb der jeweiligen Zeitreihe (Autokorrelation im Sinne von Erhaltungseignung), von Ähnlichkeiten zwischen verschiedenen Zeitreihen (Kreuzkorrelation) und von Periodizitäten im Mittelpunkt.

Zeitreihen mit gemessenen Werten liefern Informationen zur Dynamik des Wasserhaushalts im Einzugsgebiet und ermöglichen z.B. die Abschätzung der Hochwassergefährdung oder die sinnvolle Nutzung der Wasserressourcen in Trockenzeiten, um die Versorgung zu gewährleisten.

Eine weitere Bedeutung haben Zeitreihen für die Anwendung von Computermodellen erlangt, mit deren Hilfe die Prozesse des Wasserkreislaufs simuliert werden können. Diese Modelle werden „angetrieben“, indem in jedem der simulierten Zeitschritte die Belastung durch z.B. den in genannten Zeitraum gefallenen Niederschlag auf eine spezifische Fläche vorgegeben wird. „Input“ und „Output“ der Modelle bestehen demzufolge zum wesentlichen Teil aus Zeitreihen. Der Output bildet wiederum Grundlage für die Entscheidungsfindung, indem daraus die Konsequenzen von Maßnahmen „abgelesen“ werden, die in den Modellen simuliert wurden.

In den einleitenden Passagen wurde der Begriff „Zustandsgröße“ eingeführt. Damit wird eine beliebige Eigenschaft oder Vorgang eines gegebenen Systems bezeichnet, die zu einem gegebenen Zeitpunkt oder für einen gegebenen Zeitraum in Form eines Zahlenwertes beschrieben werden können. Das kann zum Beispiel die Nitratkonzentration an einer definierten Stelle im Gewässer zum Zeitpunkt  $t_0$  oder die Übertragungsrate für einen Download einer Datei vom Internet im Zeitintervall  $[t_1, t_2]$  sein.

Eine Zeitreihe ist eine zeitabhängige Folge von Datenpunkten, die als Tabelle oder als Graph dargestellt werden kann (Abbildung 49).

Typische Beispiele für Zeitreihen sind Börsenkurse, Wetterbeobachtungen oder Pegelstände.

Der Begriff Zeitreihe setzt implizit

Zeit	Wert
$t_0$	$w_0$
$t_1$	$w_1$
$t_2$	$w_2$
$t_3$	$w_3$

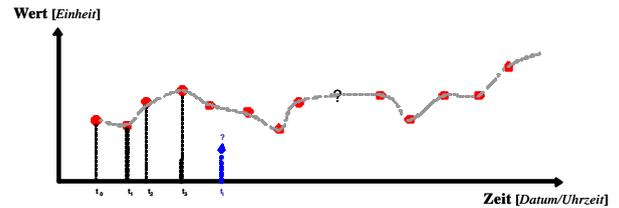


Abbildung 49: Zeitreihe

voraus, dass Daten nicht kontinuierlich, sondern diskret bzw. in endlichen zeitlichen Abständen anfallen. Die Zeitpunkte, denen Datenpunkte zugeordnet werden, können äquidistant, also in konstanten Abständen (z.B. alle 5 Sekunden), in anderer Regelmäßigkeit (z.B. werktäglich) oder vollkommen unregelmäßig angeordnet sein.

Neben der Folge der Zeitstempel-Werte-Tupel sind weitere Angaben erforderlich, um die richtige und vollständige Einordnung einer Zeitreihe vornehmen zu können. Darunter fallen insbesondere folgende Attribute

Tabelle 8: Zentrale Zeitreihenattribute

<b>Einheit</b>	Welche Größenordnung besitzen die Zahlenwerte? z.B. [m], [m/s], [°C],...
<b>Interpretation</b>	Wie gestaltet sich der Verlauf zwischen den einzelnen Werten? z.B. benachbarte Werte linear verbinden, Wert bleibt gleich bis zum nächsten Zeitstempel, ...
<b>Typ</b>	Welche Zustandsgröße beschreibt die Zeitreihe? z.B. Niederschlagshöhe, Geschwindigkeit, Temperatur,...
<b>Herkunft</b>	Woher stammen die Werte der Zeitreihe? z.B. gemessen, simuliert, manuell eingegeben, ...  Das beinhaltet natürlich auch den räumlichen Bezug, der z.B. durch die Zuordnung einer gemessenen Zeitreihe zu einer Messstation gegeben sein kann oder durch die Zuordnung einer simulierten Zeitreihe zur entsprechenden Simulation und dem Objekt des Simulationsmodells.

Diese kurze Übersicht bietet alles andere als eine fundierte theoretische Grundlage für Zeitreihen, sondern soll lediglich ein Basisverständnis dafür ermöglichen, welche „Objekte“ in diesem Kapitel Gegenstand der Betrachtung und welche verarbeitungstechnischen Aspekte im Hinblick auf die Unterstützung im Entscheidungsprozess zu beachten sind.

Die Bereitstellung relevanter Informationen (Sprich: *Decision Support*) erfordert in der Regel beträchtliche Anstrengungen, die in den nachfolgenden Erläuterungen zu den häufig in der Praxis zu beobachtenden Anforderungen und Schwierigkeiten begründet werden. Diese Überlegungen münden in der Konzeption

und Realisierung einer Programmanwendung für das Zeitreihenmanagement, die für eine signifikante Reduzierung des Aufwandes für gewisse Arbeitsschritte sorgt.

### 3.5.1.2 Anforderungen der Praxis

Dank der technischen Entwicklung bereitet die Erfassung von relevanten Zustandsgrößen eines gegebenen Systems (z.B. eine Produktionsanlage) heutzutage kein Problem. Sensoren zeichnen die Parameter von Interesse nahezu kontinuierlich auf und erlauben per Datenfernübertragung die zentrale Überwachung und schnelle Reaktion beim Eintreten bestimmter Ereignisse. In vielen Fällen übernehmen Prozessleitsysteme nahezu die komplette Steuerung komplexer Anlagen. Rund um die Uhr werden die aktuellen Zustände ausgewertet und auf Basis gegebener Regelungsvorschriften die Stellgrößen angepasst.

In der Wasserwirtschaft ist diese Entwicklung ebenfalls zu beobachten. In vergleichbarer Weise, wie es beispielsweise bei Energieversorgungsunternehmen der Fall ist, bietet das „Monitoring“ mittlerweile gute Möglichkeiten, um ständig über den aktuellen Zustand eines wasserwirtschaftlichen Systems informiert zu sein und die Historie aufzuzeichnen. Relevante Parameter können hierbei Niederschlag, Wasserstand, Verbrauch, Stoffkonzentration u.v.m. sein.

Die zunehmende Kapazität der Speichermedien erlaubt die langfristige Akkumulation und Aufbewahrung von Zeitreihendaten, so dass die Verfügbarkeit von gemessenen Zeitreihen in hohem Grade zunimmt. Darüber hinaus ergibt sich durch den Einsatz von Computermodellen eine weitere große Menge an Zeitreihen, die den durch die Simulation ermittelten voraussichtlichen Verlauf zum Ausdruck bringen.

Prinzipiell besteht dadurch eine gute Basis für die Analyse und das Studium der „Performance“ eines wasserwirtschaftlichen Systems, wenn aus den mannigfaltigen Daten die gewünschten und notwendigen Informationen extrahiert werden könnten. Es sind dabei Fragen zu beantworten wie z.B.

- Wie sind die jährlichen HQ-Werte an Pegel X, wenn die Abflussmessungen „kontinuierlich“ (d.h. in kleinen Zeitschritten - aber nicht notwendig äquidistant) vorliegen? Der Verlauf dieser HQ-Werte entspricht ebenfalls einer Zeitreihe mit je einem Wert pro Kalenderjahr oder pro hydrologischem Jahr (1.11.-31.10. des Folgejahres).
- Gleiche Zeitreihe: Wie ist der Verlauf der Tagesmittelwerte?
- Wie sieht die Summenlinie des Niederschlags (in der Einheit [mm]) an Messstation Y aus, wenn die mittlere Intensität ([mm/h]) des Niederschlags für 5-Minuten Zeitintervalle vorliegt?
- Wie ist der Gesamtinhalt der drei Speicher in einem Einzugsgebiet, wenn für jeden Speicher die Zeitreihe für den Inhalt gegeben ist?
- Wie sieht der Verlauf der Wasserstände an definierten Gewässerabschnitten aus, wenn hierfür eine Reihe von Abflusszeitreihen vorliegt, die aus einer Simulation mit einem Niederschlag-Abfluss-Modell stammen?
- u.v.m.

Die gesuchten Informationen sind in den meisten Fällen indes nicht unmittelbar und oft nur mit erheblichem Aufwand den Werten der vorliegenden Messzeitreihen zu entnehmen. Obwohl es z.B. in der Wissenschaft oder der Finanzbranche zahlreiche Werkzeuge zur Analyse von Zeitreihen gibt, wird in den Statistikbüchern meist verschwiegen, welche Probleme die Auswertung von oder generell der

Umgang mit Zeitreihen in der Praxis tatsächlich bereitet. Unter anderem sind dabei folgende Aspekte von Belang:

- Zeitreihendaten liegen in vielen unterschiedlichen Formaten vor, die nicht ohne weiteres gelesen und verarbeitet werden können.
- Zeitreihen können äußerst viele Werte besitzen, die mit der in diesem Zusammenhang häufig zum Einsatz kommenden Standardanwendung Microsoft Excel nicht mehr zu handhaben sind.
- Nicht alle Werte der Zeitreihe sind gegeben; möglicherweise gibt es Messfehler oder Datenlücken zwischen den Werten.
- Statistische Analysen setzen in der Regel äquidistante Werte voraus, was nicht unbedingt der Fall sein muss.
- Zur Beschaffung der notwendigen Informationen müssen Operationen auf Zeitreihen stattfinden, die oft strenge Voraussetzungen an das Vorliegen der Werte (äquidistant, spezielle Interpretation) stellen und daher großen Vorbereitungsaufwand verursachen.
- Simulationsmodelle benötigen ihren Input in definiertem Format, in das die vorliegenden Zeitreihen meist zu konvertieren sind.

Vergleichbar zum GIS, das die Erfassung, Verwaltung, Darstellung und Auswertung von Daten mit geografischem Bezug unterstützt, ist eine entsprechende Software für das Zeitreihenmanagement von maßgeblicher Bedeutung für den Decision Support. Während allerdings hinsichtlich der Entwicklung von GIS signifikante Fortschritte zu verzeichnen sind und es in hohem Maße ausgereifte Produkte auf dem Markt gibt, besteht hinsichtlich der Entwicklung von Produkten zum Management von Zeitreihen nach Ansicht der Autoren Nachholbedarf.

Hierzu wurden von *Sydro* mit der Programmanwendung *WELLE* Entwicklungen getätigt und im besonderen für das Projekt *WSM300* im Hinblick auf den Einsatz von Simulationsmodellen und zur Bestimmung der Fakten weitere Konzepte formuliert und Implementierungen vorgenommen. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes befindet sich die Version *WELLE 4.0* allerdings noch nicht im Vertriebsstadium.

### 3.5.2. Die Software WELLE

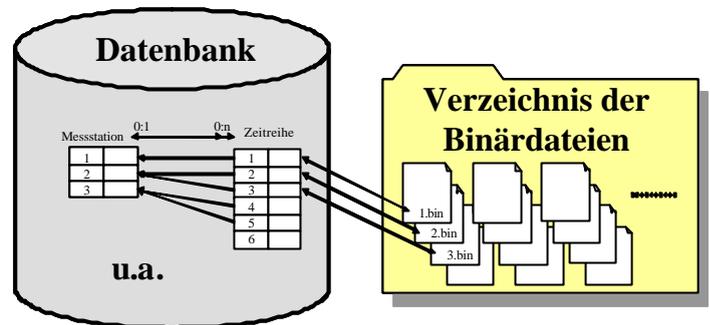
Nachfolgend werden die wesentlichen Konzepte und der Funktionsumfang von *WELLE* vorgestellt.

Das umfasst u.a.

- einen beliebig großen Datenbestand aufzubauen und zu verwalten,
- Schnittstellen zu zahlreichen Formaten bereitzustellen,
- Zeitreihen zu visualisieren und deren Werte zu bearbeiten,
- aus gegebenen Zeitreihen andere Zeitreihen „abzuleiten“ (z.B. Tagesmittelwerte oder Summenlinie berechnen),
- statistische Auswertungen durchzuführen.

### 3.5.2.1 Bestand verwalten

In WELLE sind die „Objekte der realen Welt“ (Messstationen oder Zeitreihen) in einer relationalen Datenstruktur abgebildet. Die Werte jeder Zeitreihe sind ihrerseits in binärer Darstellung in jeweils einer separaten Datei enthalten. Relationale Datenbank und Verzeichnis mit Binärdateien bilden somit eine Einheit. Der Zugriff auf die Daten erfolgt über WELLE, so dass die Trennung für den Anwender verborgen bleibt.



Dieses Konzept stellt eine gute Lösung in Bezug auf benötigtes

Abbildung 50: WELLE-Datenhaltung

Speichervolumen und Zugriffsgeschwindigkeit auf mitunter sehr große Wertemengen dar. Für eine Zeitreihe, deren Werte in Zeitabständen von  $\Delta t = 5$  min vorliegen, ergeben sich pro Kalenderjahr immerhin  $12 \times 24 \times 365 = 105.120$  Werte. Soll also z.B. ein Zeitraum von 10 Jahren als Ganglinie dargestellt werden, sind mehr als eine Million Werte zu lesen und zu zeichnen. Demgegenüber beschränken sich die in der Datenbank zu speichernden Angaben auf eine überschaubare Menge. In der Regel wird WELLE zusammen mit Microsoft-Access betrieben, so dass keine separate Anschaffung eines anderen Relationalen Datenbankmanagementsystems (RDBMS) erforderlich ist.

Für die Sicherheit der Daten in der Datenbank sorgt deren Transaktionskonzept. In gleicher Weise wird die Bearbeitung von Zeitreihenwerten durch ein Backup-Konzept abgesichert, so dass bei einem Update gilt „Entweder ganz der gar nicht!“.

Der Zeitreihenexplorer liefert eine Übersicht über den Bestand an Zeitreihen. Hierin wird eine Liste mit Zeitreihen und ihren maßgeblichen Attributen angezeigt.

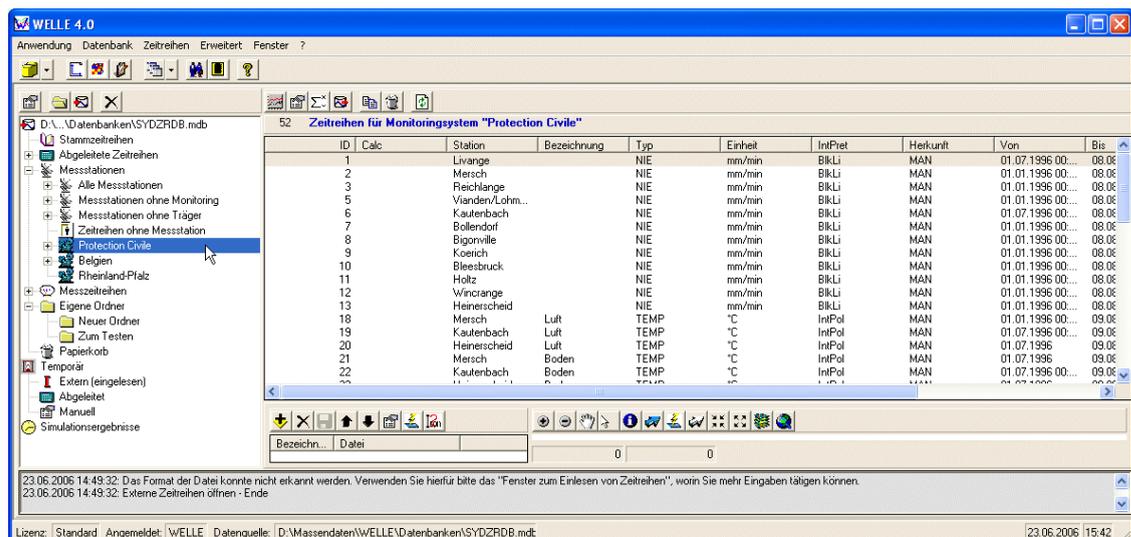


Abbildung 51: WELLE-Explorer

Ein Teil der angezeigten Struktur wird z.B. durch die Zuordnungen von Zeitreihen zu Stationen oder die Unterteilung in Stamm- und abgeleitete Zeitreihen (siehe 3.5.2.4) vorgegeben. Zudem kann der Anwender für die Datenbankzeitreihen eine manuelle Ordnerstruktur vorgeben (vergleichbar zum Windows-Explorer). Mit Hilfe der Ordnerstruktur von Messstationen, der Zugehörigkeit zu einem Monitoringsystem oder einer manuell vorgegebenen Unterteilung kann der Bearbeiter die Anzeige einschränken und auf diese Weise schnell die gewünschte(n) Zeitreihe(n) finden.

Der WELLE-Explorer bildet den Ausgangspunkt für sämtliche Funktionen zum Anzeigen und Auswerten von Zeitreihen.

### 3.5.2.2 Datenaustausch

Jeder kennt die vielfältigen Formate, in denen Grafikdateien vorliegen (bmp, jpg, tif, gif, wmf, dxf und viele mehr). Da ein Grafikprogramm den Typ der Datei in der Regel automatisch erkennt und die meisten Formate einlesen kann, braucht das Dateiformat den Nutzer nicht zu interessieren; nach dem Öffnen der Datei sieht er das in der Datei gespeicherte Bild vor sich. Gleiches gilt für den Austausch von GIS-Daten. Hier stehen ebenfalls viele verschiedene Formate zur Verfügung {GISFormate}, die mit der jeweiligen GIS-Software in die Anzeige geladen werden können.

Eine vergleichbare Vielfalt von Formaten bietet die Welt der Zeitreihen. Auf einzelne Ausprägungen wird hier allerdings nicht explizit eingegangen. Zeitreihen sind in vielen Fällen (jedoch nicht immer) als Text in so genannten *ASCII-Dateien* gespeichert, wobei leider nicht zu allen Formaten eine passende Beschreibung zur Verfügung steht. Mitunter sind mehrere Zeitreihen in einer einzigen Datei gespeichert; andererseits kann es vorkommen, dass eine Zeitreihen über viele Dateien verteilt sein kann, wie das manchmal bei Software für Kläranlagentagebücher der Fall ist.

Fest steht jedoch, dass der Aufwand für die Beschaffung und Anpassung von externen Datenquellen an die eigene Aufgabenstellung in den praktischen Untersuchungen enorm hoch ist und durch den Einsatz von *WELLE* drastisch reduziert werden kann.

In *WELLE* wird vergleichbar zu Grafikprogrammen versucht, beim Öffnen einer Zeitreihendatei deren Format automatisch zu erkennen. Das muss aber aufgrund der vielen Datenkonstellationen nicht immer

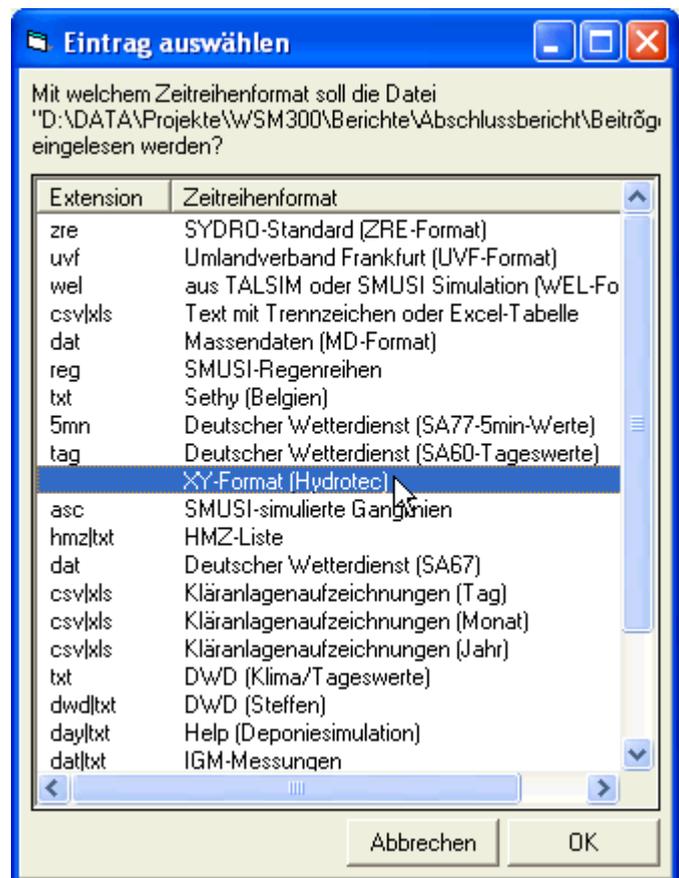


Abbildung 52: WELLE-Dialog mit Zeitreihenformaten

gelingen, so dass der der Anwender die Möglichkeit erhält, per Dialog ein Format aus einer Liste vorzugeben (Abbildung 52).

Nachdem das Format erkannt wurde und keine Fehler während des Einlesevorgangs festgestellt wurden (z.B. ungültige Datumsangaben), die zum grundsätzlichen Abweisen der Inputdaten führen, werden die in der Datei enthaltenen Zeitreihen sukzessive in einem Dialogfenster angezeigt (Abbildung 53). Hierin muss der Anwender die Parameter für *Einheit*, *Interpretation* u.a. bestätigen, korrigieren oder eventuell ergänzen. Sind in einer Datei mehrere Zeitreihen, können davon einzelne überlesen werden.

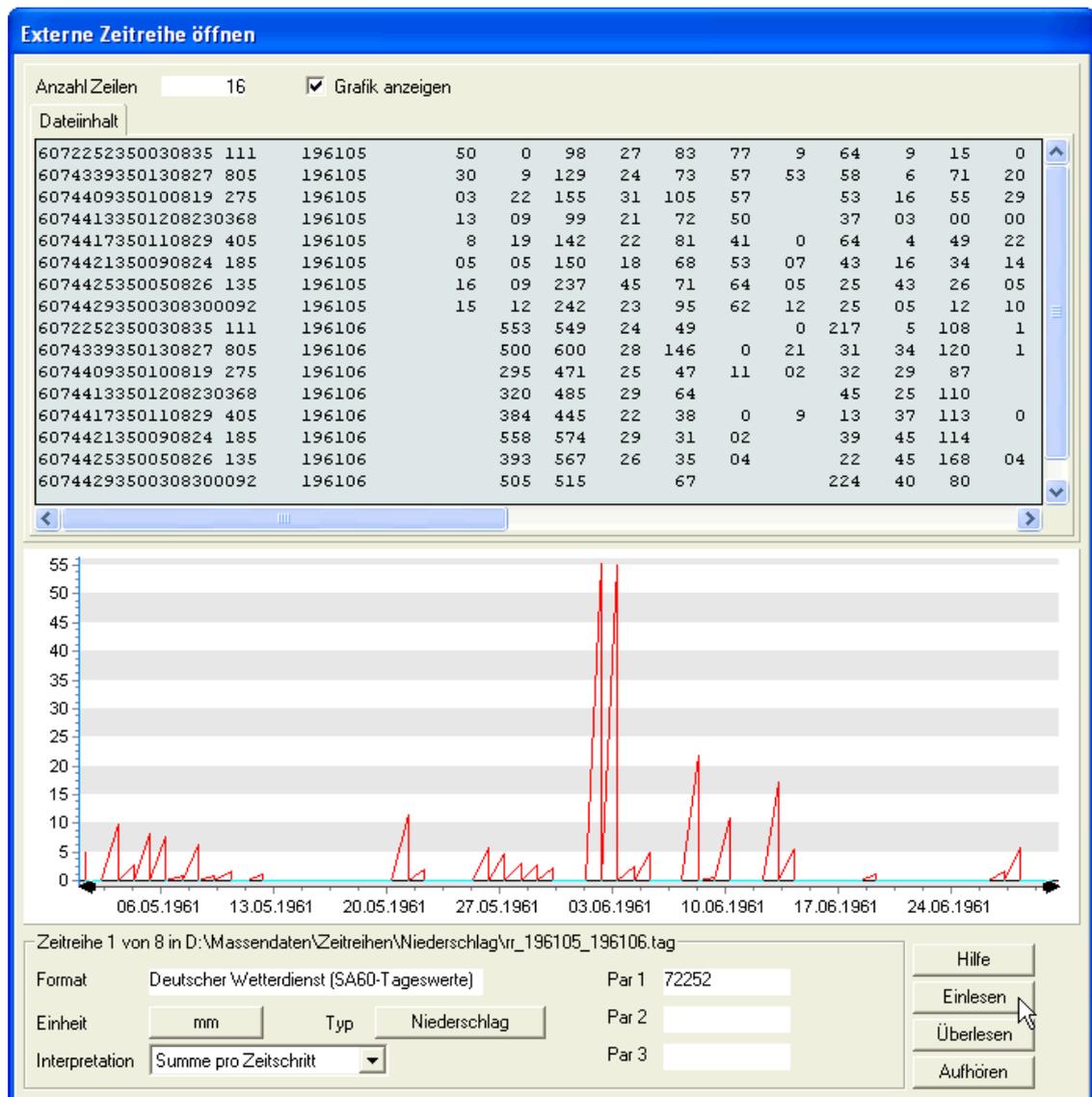


Abbildung 53: WELLE-Externe Zeitreihe(n) öffnen

Die Dateien mit den „externen“ Zeitreihen selbst werden nicht bearbeitet, sondern beim Einlesen in das WELLE-eigene Format umgewandelt. Die eingelesenen Zeitreihen stehen anschließend im WELLE-Explorer als temporäre Zeitreihen zur Verfügung, d.h. sind noch nicht in der angeschlossenen Datenbank gespeichert. Das bedeutet indes keine Einschränkung hinsichtlich der weiteren Verarbeitung oder Auswertung. Temporäre Zeitreihen sind durch einfaches „Drag&Drop“ im WELLE-Explorer (Abbildung 51) in die Datenbank zu übernehmen.

Auf diese Weise kann ein Bestand von Zeitreihen aus vielen unterschiedlichen Quellen aufgebaut werden, die in einer einzigen Anwendung verwaltet, visualisiert und ausgewertet werden können. Im Gegenzug können in WELLE Zeitreihen in verschiedenen Formaten ausgegeben werden, um die Daten anderen Anwendungen zur Verfügung zu stellen. Ein einfaches und nahe liegendes Beispiel wäre die Ausgabe als CSV-Datei mit den zwei Spalten *Zeitstempel* und *Wert*, um eine Zeitreihe mit einer beschränkten Anzahl von Werten in dem allgemein gebräuchlichen Programm MS-Excel darzustellen.

### 3.5.2.3 Visualisieren und bearbeiten

Im Hinblick auf die Zeitreihenanalyse steht an erster Stelle die graphische Darstellung der empirischen Zeitreihenwerte. Im Rahmen der graphischen Analyse lassen sich erste Schlüsse über das Vorliegen von Trends, Saisonalitäten, Ausreißern, Varianzinstationarität sowie sonstiger Auffälligkeiten ziehen.

Selbstverständlich besitzt WELLE eine entsprechende Funktionalität zur Anzeige von Ganglinien (Abbildung 54).

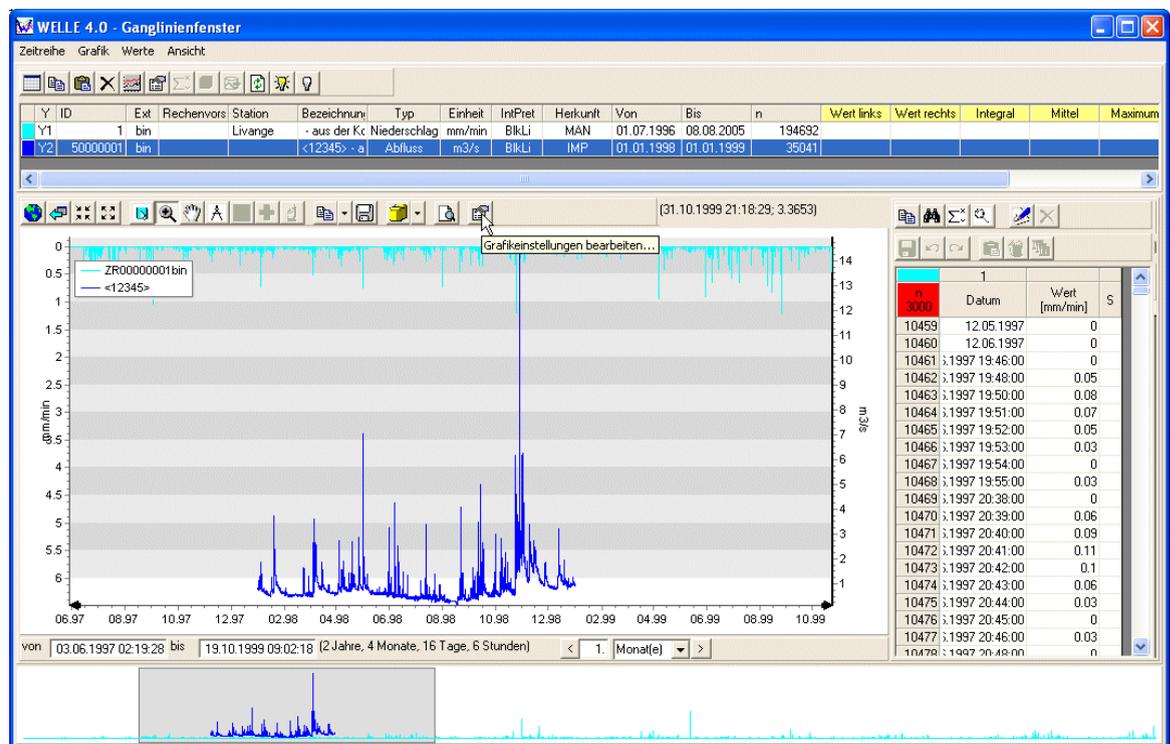


Abbildung 54: WELLE-Ganglinienfenster mit Niederschlags- und Abflusszeitreihe

In dem Fenster ist es möglich

- beliebig viele Zeitreihen anzuzeigen,
- Zeitreihen beliebiger Größe darzustellen,
- die Wertetabelle von bis zu zwei Zeitreihen anzuzeigen,
- mehrere Achsen zu deklarieren,
- den angezeigten Ausschnitt einzustellen (Zoomen, von...bis auswählen),
- Informationen zu einem ausgewählten Intervall anzeigen zu lassen (z.B. Integralwert),

- in den Bearbeitungsmodus umzuschalten und Werte zu bearbeiten,
- die aktuellen Einstellungen für die Anzeige in der Datenbank zu speichern, um diese in Zukunft auf Knopfdruck erzeugen zu können.

Zusätzlich befindet sich im unteren Teil des Fensters eine Übersicht des gesamten überdeckten Zeitraums, auf dem der aktuell angezeigte Ausschnitt markiert ist. Dieser kann mit der Maus positioniert werden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt besteht darin, bei der Anzeige von zwei Zeitreihen mit unterschiedlichen Einheiten, aber vom gleichen Einheitentyp (z.B. Abflussganglinien mit  $\text{m}^3/\text{h}$  und  $\text{l/s}$ ), diese auf die gleiche Achse zu beziehen. Die für die Darstellung in der Grafik erforderliche Umrechnung der Werte erfolgt automatisch; die Originalwerte der Zeitreihe bleiben selbstverständlich unangetastet.

Beim Verkleinern des dargestellten Zeitraums („Reinzoomen“) werden die Punkte explizit dargestellt, sobald eine definierte Anzahl nicht überschritten ist (Abbildung 55).

Zum Ändern der Werte einer Zeitreihe muss zuvor in den Bearbeitungsmodus geschaltet werden, der dann in der Tabelle durch die rote Einfärbung der Überschriftenzelle kenntlich gemacht wird. Nachdem ein Wert hinzugefügt oder geändert wurde, wird das in der Tabelle farblich hinterlegt (Abbildung 55).

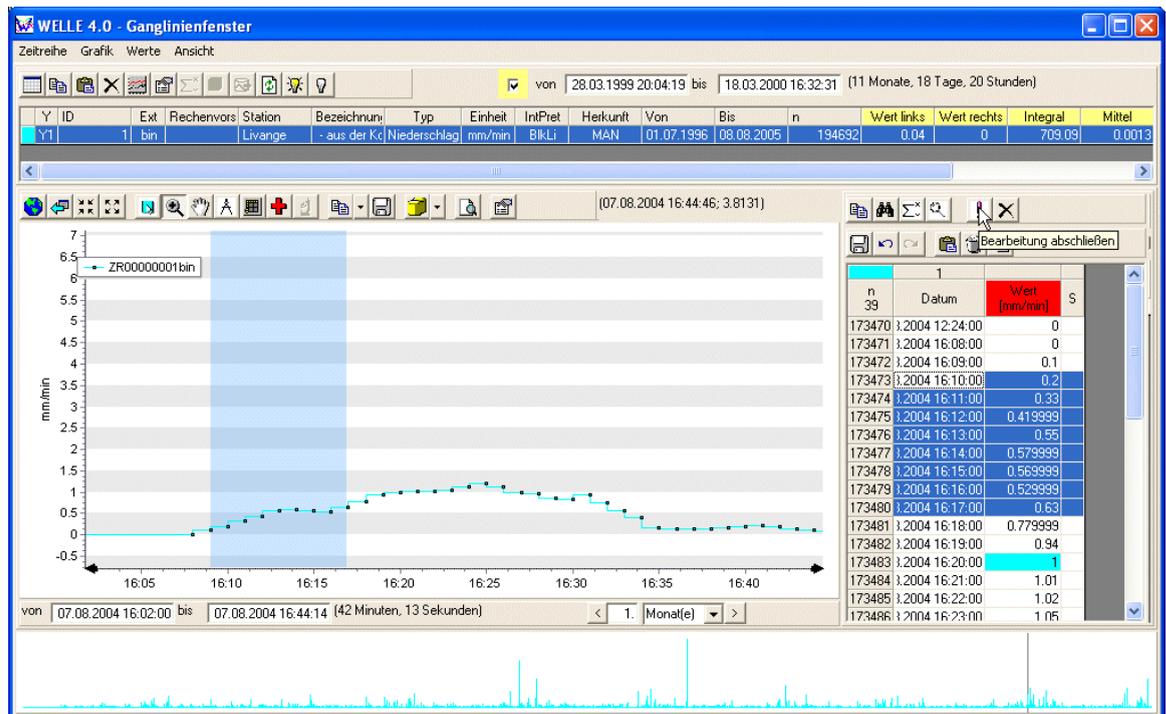


Abbildung 55: WELLE-Ganglinienfenster mit Punktdarstellung im Bearbeitungsmodus

### 3.5.2.4 Operationen auf Zeitreihen

In der Beschreibung der Anforderungen und Schwierigkeiten der Praxis (3.5.1.2) wurde mit einigen einfachen Fragestellungen die Notwendigkeit zur „Ableitung“ neuer Zeitreihen aus gegebenen Zeitreihen motiviert. Das ist beispielsweise der Fall, wenn der Verlauf der mittleren Tagesabflüsse von Interesse ist, die vorliegende Abflusszeitreihe jedoch mit einer hohen zeitlichen Auflösung -z.B. in 15-Minuten

Schritten- vorliegt oder wenn Niederschlagswerte als Intensität vorliegen und die Summenlinie für das hydrologische Jahr gewünscht ist.

In diesem Sinne lassen sich vielfältige Anforderungen spezifizieren. Für *WELLE* wurde ein Konzept zur Formulierung von *Ableitungsregeln* entworfen, womit die systematische Bildung neuer Zeitreihen auf Basis gegebener Zeitreihen unterstützt wird. Es ist auch möglich, mehrere Zeitreihen miteinander zu kombinieren, indem etwa die Summe der Werte zu gewünschten Zeitpunkten gebildet wird.

„Abgeleitete“ Zeitreihen, die auf diese Weise gebildet wurden, können ihrerseits wieder für die Formulierung weiterer Zeitreihen herangezogen werden. Durch diese Vorgehensweise wird ein rekursiver Erzeugungsprozess definiert, der bis zu einer beliebigen Tiefe geschachtelt werden kann, wie es in folgender Abbildung angedeutet ist.

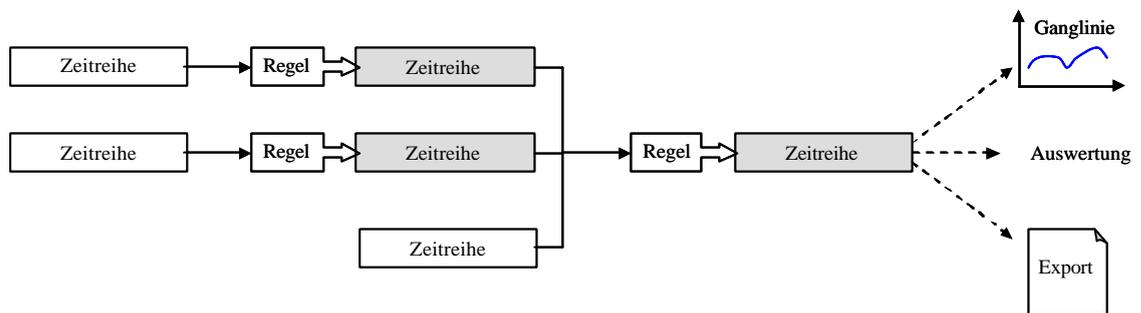


Abbildung 56: WELLE-Zeitserien ableiten (rekursiv)

Eine Ableitungsregel besteht aus einer *Rechenvorschrift* und zusätzlichen Parametern zur genaueren Spezifikation, wie die neue Zeitreihe mit Hilfe dieser Rechenvorschrift gebildet werden soll. Beispielsweise muss bei den Vorschriften „Verschiebe die Zeitreihenwerte“ oder „Bilde Mittelwerte“ noch das entsprechende Intervall angegeben werden.

Die Menge der Rechenvorschriften wird in die beiden Kategorien einfach (wenn nur eine einzige Zeitreihe eingeht) und zusammengesetzt (wenn mehrere Zeitreihen verknüpft werden) aufgeschlüsselt, deren Umfang in Tabelle 9 und Tabelle 10 skizziert wird.

Tabelle 9: WELLE – Ableitungsregeln (einfach)

Rechenvorschrift	Erläuterung
Transformation	Die Werte(!) der Eingangszeitreihe werden mit Hilfe einer Funktion (Formel oder Kennlinie) transformiert. Eine Verschiebung um $b$ wird beispielsweise mit Hilfe einer Geraden der Gestalt $y = x + b$ durchgeführt. Dann ergibt sich der neue Wert an der Stelle $i$ durch $y_{i,neu} = y_i + b$ .
Verschieben	Im Gegensatz zum Verschieben der Werte werden mit Anwendung dieser Regel die <u>Zeitstempel</u> einer Zeitreihe um ein Zeitintervall $\Delta t$ verschoben. Das ermöglicht z.B. im Anschluss die Prüfung der zeitversetzten Korrelation mit anderen Zeitreihen oder mit der Zeitreihe selbst (Autokorrelation).
Mittelwerte	Bildung des Mittelwertes für jedes Intervall ausgehend von einem Bezugszeitpunkt. Die Interpretation der dadurch entstehenden Zeitreihe ist naheliegenderweise <i>Block links</i> .

Minima	Der kleinste Wert für jedes Intervall wird ermittelt. Die resultierende Interpretation ist <i>undefiniert</i> .
Maxima	Analog <i>Minima</i> der größte Wert für jedes Intervall
Glätten	Es wird ein gewichtetes Mittel der benachbarten n (n ungerade) Werte gebildet, wenn die Eingangszeitreihe äquidistant vorliegt. Beispiele: $y_{i,neu} = \frac{1}{3}y_{i-1} + \frac{1}{3}y_i + \frac{1}{3}y_{i+1} \text{ oder } y_{i,neu} = \frac{1}{4}y_{i-1} + \frac{1}{2}y_i + \frac{1}{4}y_{i+1}$ Die resultierende Interpretation stimmt stets mit derjenigen der Eingangszeitreihe überein.
Integrieren	Entspricht im Grunde der Umrechnung einer zeitabhängigen Einheit (etwa m <sup>3</sup> /s) in ihre Stammgröße, z.B. wird <i>Geschwindigkeit</i> zu <i>Länge</i> oder <i>Abfluss</i> zu <i>Volumen</i> integriert. Die Berechnung kann entweder an den gegebenen Stützstellen orientiert sein, oder es wird ein Intervall mit einem definierten Startzeitpunkt angegeben (z.B. Bildung von Tages- oder Monatssummen). Als Interpretation der berechneten Zeitreihe ergibt sich stets <i>Summe pro Zeitschritt</i> .
Differenzieren	Als Gegenoperation zum Integrieren wird für den angegebenen Zeitschritt jeweils die mittlere Intensität berechnet. Die Interpretation der Zielzeitreihe lautet <i>Block links</i> .
Summenlinie	Hierzu sind ein Zeitintervall und ein Bezugszeitpunkt anzugeben. Ausgehend von diesem Zeitpunkt werden für die aufeinander folgenden Intervalle jeweils die Summenlinien gebildet. Liegt eine Zeitreihe in einer Intensität vor, wird gleichfalls eine <i>Integration</i> durchgeführt. Bei Summe pro Zeitschritt erfolgt lediglich eine Aufsummierung der aufeinander folgenden Werte bis zum Intervallende; danach geht es wieder bei Null los. Die Interpretation der Ergebniszeitreihe ist stets <i>Linear interpoliert</i> .
Interpolation	Dient bei linear interpolierten Zeitreihen zur „Verfeinerung“ der zeitlichen Auflösung, um z.B. die Stabilität einer Berechnung zu unterstützen.

Tabelle 10: WELLE – Ableitungsregeln (zusammengesetzt)

Rechenvorschrift	Erläuterung
Formel	Die Kombination von Zeitreihen wird durch eine Formel beschrieben. Sind $Z_1$ , $Z_2$ und $Z_3$ beliebige Eingangszeitreihen, so kann eine abgeleitete Zeitreihe z.B. in der Gestalt $Z_{neu} = Z_1 + Z_2 + Z_3$ gebildet werden oder $Z_{neu} = \text{SQRT}(Z_1 * Z_2) / Z_3$ . Die Formelsyntax ist vergleichbar zu derjenigen von Excel.
Verdunstung (Haude)	Die Berechnung der (potentiellen) Verdunstung nach Haude erfordert die Angabe je einer Zeitreihe für Luftfeuchtigkeit (LF) und Temperatur (T). Zusätzlich werden für die Monat eines Jahres so genannte Haude-Faktoren benötigt, wonach mit

	Hilfe der Formel $ETP_{14:00} = f_{Monat} * 6,11 * e^{\frac{17,62 * T_{14:00}}{243,12 * T_{14:00}}} * \left(1 - \frac{LF_{14:00}}{100}\right)$ die geforderte Zeitreihe berechnet werden kann.
Verdunstung (Penman)	Die Berechnung der (potentiellen) Verdunstung nach Penman erfordert zusätzlich die Bereitstellung von Zeitreihen für Windgeschwindigkeit und Sonnenscheindauer. Darüber hinaus werden die Koeffizienten der Polynome benötigt, die in einer wesentlich komplexeren Formel Eingang finden.

Die Formulierung sinnvoller Ableitungsvorschriften liegt gegebenenmaßen in der Verantwortung des Bearbeiters. In der Regel wird z.B. die Addition von Niederschlag und Temperatur kein sachdienliches Resultat ergeben.

In Abbildung 57 ist eine Niederschlagszeitreihe zusammen mit ihren Summenlinien für das jeweilige Kalenderjahr dargestellt.

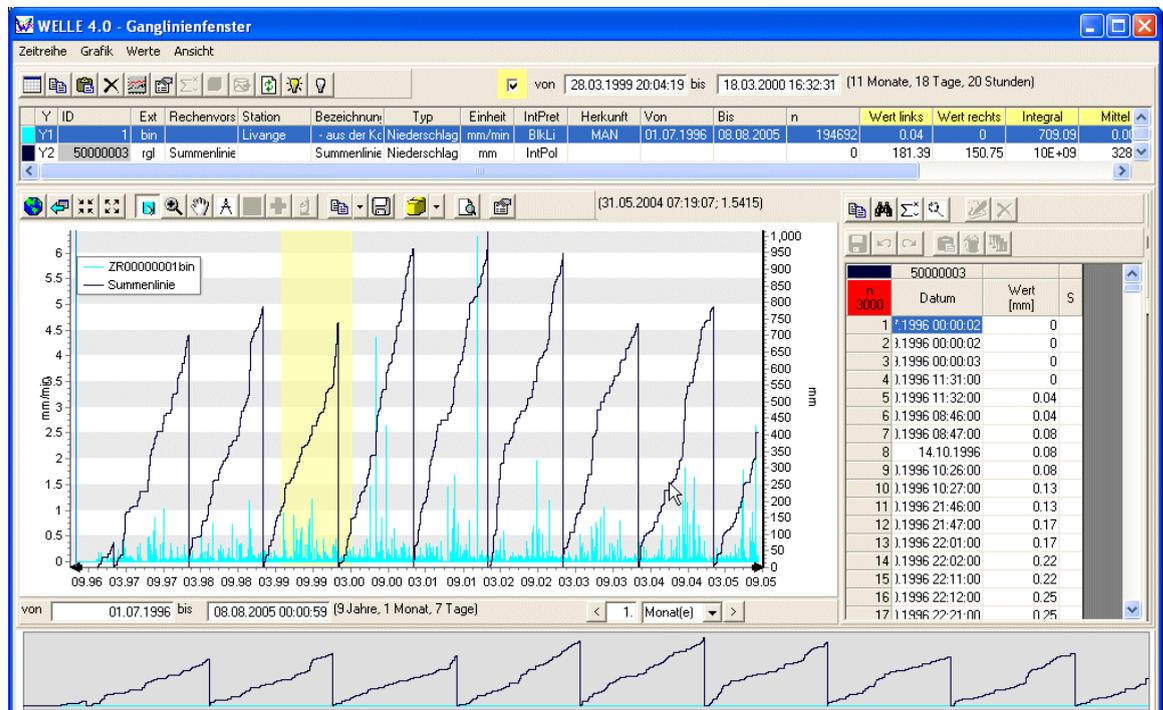


Abbildung 57: WELLE-Ganglinienfenster mit Niederschlagszeitreihe und zugehöriger Summenlinie

In WELLE wird nur die Bildungsregel der abgeleiteten Zeitreihe gespeichert (vergleichbar der Query einer SQL-Datenbank). Die Werte werden dynamisch erzeugt, wenn darauf zugegriffen wird, z.B. bei der Ganglinienvisualisierung (Abbildung 57). In der Anwendung besteht im Hinblick auf die Auswerte- und Darstellungsmöglichkeiten zwischen abgeleiteten und „Stamm“zeitreihen kein Unterschied. Klar ist, dass die Werte einer abgeleiteten Zeitreihe nicht bearbeitet werden können. Hierzu ist diese Zeitreihe zuvor als Stammzeitreihe zu speichern, wobei ein „Schnappschuss“ der Werte erstellt wird und der dynamische Link zur Ausgangszeitreihe verloren geht.

### 3.5.2.5 Auswertung – Ermittlung von Zielvariablen

Decision Support erfordert die Verfügbarkeit entscheidungsrelevanter Informationen. Diese bestehen in vielen Fällen aus spezifischen Kenngrößen von Zeitreihen und sind das Resultat statistischer Auswertungen. Auch sind zur Vervollständigung der Entscheidungsmatrix die darin spezifizierten Zielvariablen zu berechnen und als „Fakten“ einzugeben. Das kann im einfachen Fall der MQ-Wert einer simulierten Abflusszeitreihe sein oder aber eine Auswertung gemäß der 9er-Matrix (Abbildung 13).

In Kombination mit der Berechnung abgeleiteter Zeitreihen, die im vorhergehenden Kapitel kurz erläutert wurde, bietet WELLE mit der Berechnung statistischer Größen die Voraussetzungen für die Ermittlung oben genannter Fakten. Das dafür vorgesehene Fenster ermöglicht beispielsweise die Ermittlung

- der maßgeblichen statistischen Momente (Mittelwert, Standardabweichung, Schiefe),
- der Extremwertstatistik,
- der Dauerlinien (Abbildung 58),
- der Verteilungsfunktion (Abbildung 59),
- eines Histogramms.

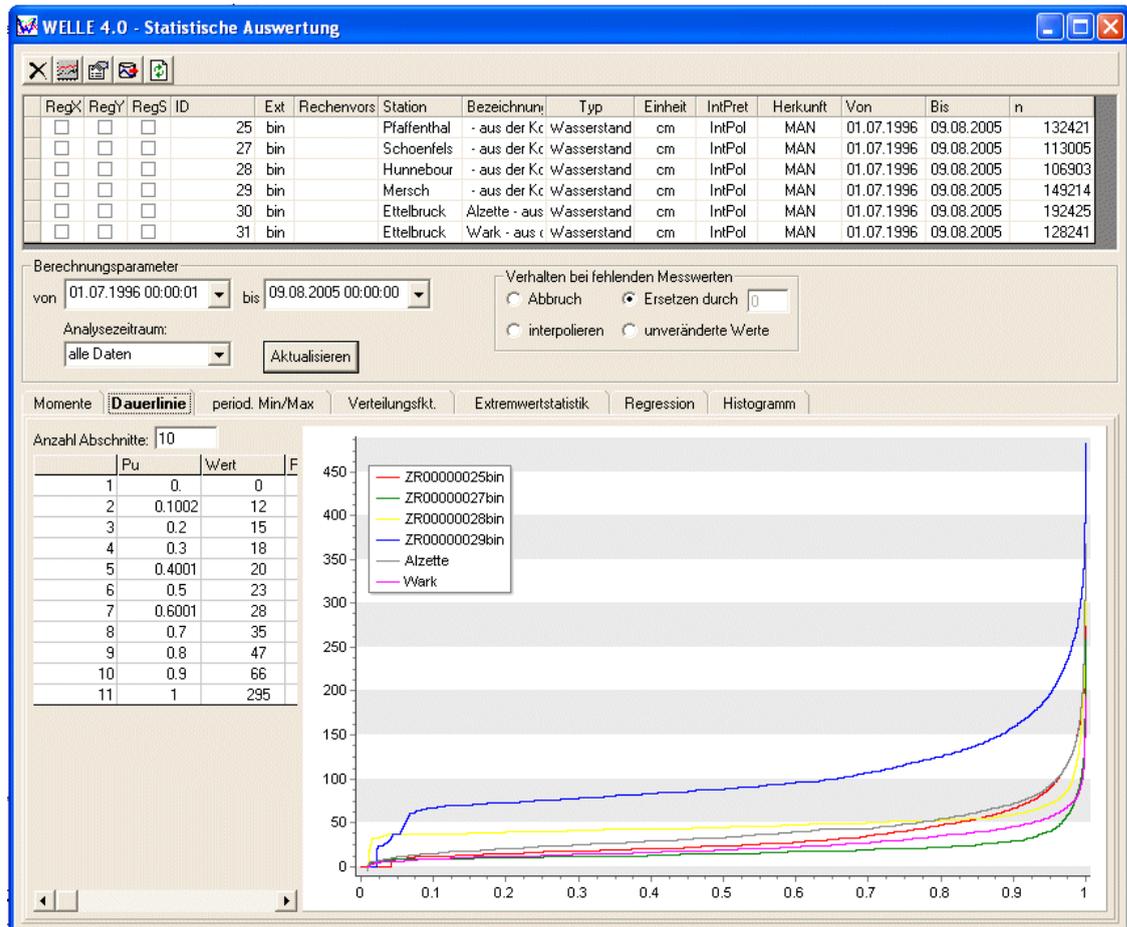


Abbildung 58: WELLE-Statistikfenster mit Unterauswahl „Dauerlinien“

Wie bei der Visualisierung von Ganglinien (z.B. Abbildung 54) kann das Statistikfenster mit mehreren Zeitreihen geöffnet werden bzw. es können Zeitreihen einzeln hinzugefügt oder entfernt werden. Befinden sich mindestens zwei Zeitreihen im Fenster, kann eine lineare Regression durchgeführt werden. Mit Hilfe der Ableitungsrechenvorschrift *Verschieben* (Tabelle 9) kann auf diese Weise das Maß für die Korrelation zwischen zwei Zeitreihen oder natürlich auch die Autokorrelation bestimmt werden, denn in die Berechnung können gleichermaßen Stamm- oder abgeleitete Zeitreihen Eingang finden.

Das Fenster bietet weiterhin die Möglichkeit, den Zeitraum der zu analysierenden Werte einschränken können. Zum einen bedeutet das ganz einfach, dass von- und bis-Datum gesetzt werden und somit die Zeitreihen auf diesen Zeitraum „verkürzt“ werden. Von zusätzlicher Bedeutung gerade für wasserwirtschaftliche Fragestellungen ist die Einschränkung auf gewisse „Jahreszeitebereiche“, z.B. das Winter- oder das Sommerhalbjahr oder einzelne Monate.

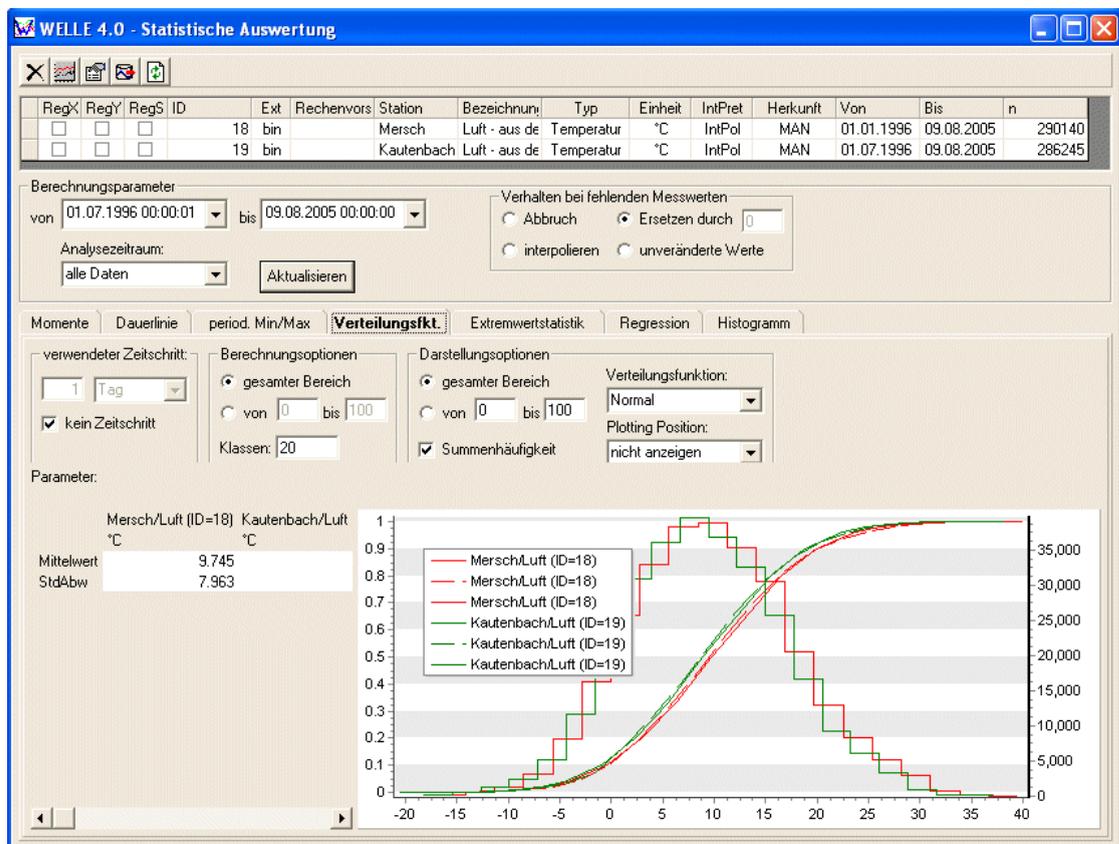


Abbildung 59: WELLE-Statistikfenster mit Unterauswahl „Regression“

Eine äquidistante(!) Zeitreihe kann auch auf einfache Weise einer umfassenderen statistischen Auswertung und Diagrammdarstellung zur Verfügung gestellt werden, indem aus dem Ganglinienfenster (Abbildung 54) die Werte in die Zwischenablage kopiert oder die Zeitreihe in einem einfachen CSV-Format exportiert werden. Im Anschluss daran sollte es möglich sein, die Werte in das entsprechende Statistikprogramm einzulesen.

### 3.5.2.6 Zusammenspiel mit Simulationsmodellen

In Kapitel 2.7.1 wurde dargelegt, dass häufig Computermodelle zum Einsatz gelangen, um die Wirkung von Maßnahmenkombinationen abschätzen zu können. Soll beispielsweise die Effektivität von konstruktiven Hochwasserschutzmaßnahmen prognostiziert werden, wird mit einem entsprechenden Niederschlag-Abfluss-Modell für das gegebene Einzugsgebiet aus dem zeitlichen Verlauf des Niederschlags der sich daraus ergebende Verlauf des Abflusses an ausgewählten Positionen im System berechnet.

Derartige Modelle benötigen zum einen *Input*, der die Dynamik des Modells „antreibt“. Zum zweiten erzeugen diese Simulationsmodelle *Output*, der ebenfalls in Gestalt von Zeitreihen vorliegt. Die Bereitstellung von Input und Auswertung oder Weiterverarbeitung des Output bezeichnet man als *Pre-* bzw. *Post-Processing* (siehe 2.7.2).

Neben der eigentlichen Erstellung des Modelldatensatzes aus der Diskretisierung des Einzugsgebiets und der Eingabe der Parameter sind Pre- und Postprocessing in der Praxis oft mit erheblichem Aufwand verbunden. In dieser Hinsicht sind erhebliche Effizienzsteigerungen möglich, wenn z.B. Simulationsergebnisse schnell und umfassend ausgewertet und die Werte von Zielvariablen errechnet werden können. Infolge der variablen Spezifikation von Zielvariablen muss diese Berechnung unabhängig vom verwendeten Simulationsmodell und ausschließlich auf den zugrunde liegenden Daten (Modelloutput) stattfinden.

WELLE bietet in dieser Hinsicht einige Ansätze, indem die Ausgabeformate ausgewählter Simulationsmodelle gelesen werden können. Das beinhaltet beispielsweise das Ausgabeformat von Hystem-Extran [HYSTEXT2005], SWMM {SWMM} oder Help {HELP}.

Darüber hinaus wurde ein allgemeingültiges Format für die Ausgabe von Zeitreihen spezifiziert (Abbildung 60), die in TALSIM zur Anwendung kommen soll. In diesem Format können eine beliebige Anzahl von Zeitreihen, deren Werte zu jeweils gleichen Zeitpunkten erfasst sind, nebeneinander aufgelistet werden. Die Einträge werden entweder mit einem Semikolon oder mit „Tab“ getrennt (CSV-Format).

Weitere Entwicklungen gehen in Richtung einer allgemeingültigen Beschreibung von Zeitreihen in XML. Es ist zu wünschen, dass eine derartige Spezifikation unter Zusammenarbeit von Modellherstellern und -anwendern zustande kommt.

```
[INFO]
Herkunft=Manuell
Bezeichnung=
Datum=07.10.2000 23:25
[ZEITREIHEN]
ID; ;Z1;Z2;Z3
Bezeichnung; ;Z1;Z2;Z3
Einheit; ;Tsd.m3;mNN;m3/s
Intpret; ;BR;BR;BR
Typ; ;VOL;WSP;QQQ
01.01.1950;00:00;6350.871;323.990;0.445
01.02.1950;00:00;5920.252;323.098;0.136
01.03.1950;00:00;5807.760;322.850;0.272
01.04.1950;00:00;5538.192;322.229;0.210
01.05.1950;00:00;4697.174;320.207;0.000
01.06.1950;00:00;4051.766;318.486;0.065
01.07.1950;00:00;3419.664;316.604;0.078
01.08.1950;00:00;3307.171;316.233;0.272
01.09.1950;00:00;4139.203;318.739;0.635
01.10.1950;00:00;4688.275;320.184;0.519
01.11.1950;00:00;4714.195;320.250;0.324
```

Abbildung 60: WELLE-Textformat für Simulationsergebnisse

Prinzipiell fallen Simulationsergebnisse unter die gleiche Kategorie wie externe Zeitreihen, d.h. es findet quasi ein Import der Zeitreihen und entsprechende Umwandlung in die WELLE-Anwendung statt (3.5.2.2). Aufgrund der mitunter großen Anzahl von Zeitreihen aus einer Simulation werden allerdings zunächst erst die möglichen Zeitreihen bestimmt und die Werte erst bei Bedarf (z.B. bei Anzeige im Ganglinienfenster) gelesen. Nach dem Öffnen einer Datei mit Simulationsergebnissen werden die darin enthaltenen Zeitreihen im WELLE-Explorer aufgelistet (Abbildung 61) und stehen genau wie alle anderen Zeitreihen für die weitere Analyse und Auswertung in WELLE zur Verfügung.

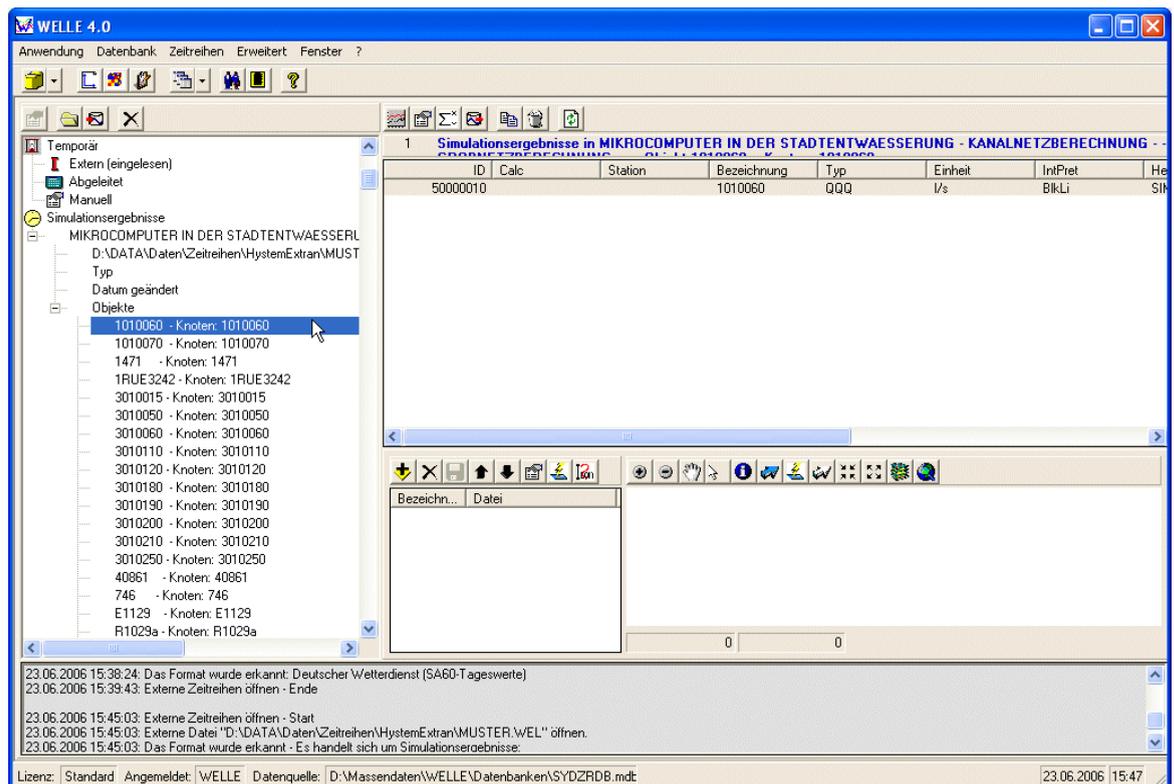


Abbildung 61: WELLE-Explorer mit Simulationsergebnissen

Auf diese Weise sollen die für den Decision Support wichtigen Arbeitsschritte *Simulation*→*Auswertung der Zeitreihen* bzw. generell *Zeitreihen gegeben*→*Bestimmung der Zielvariablen* wesentlich effektiver und effizienter durchzuführen sein als das zur Zeit der Fall ist, da in vielen Fällen die Anzahl der untersuchten Szenarien allein aufgrund des technischen Aufwands zur Bestimmung der gewünschten Informationen auf wenige Alternativen eingeschränkt ist.

Allerdings erfordern diese Tätigkeiten angesichts der Vielfalt der potentiell zu untersuchenden Möglichkeiten auch weiterhin –trotz stärkerer Automatisierung und Unterstützung– ein fundiertes Wissen um die fachlichen Grundlagen hinsichtlich der Interpretation der Simulationsergebnisse und der Analyse von Zeitreihen, als auch in der Funktionalität und Bedienung der Software.

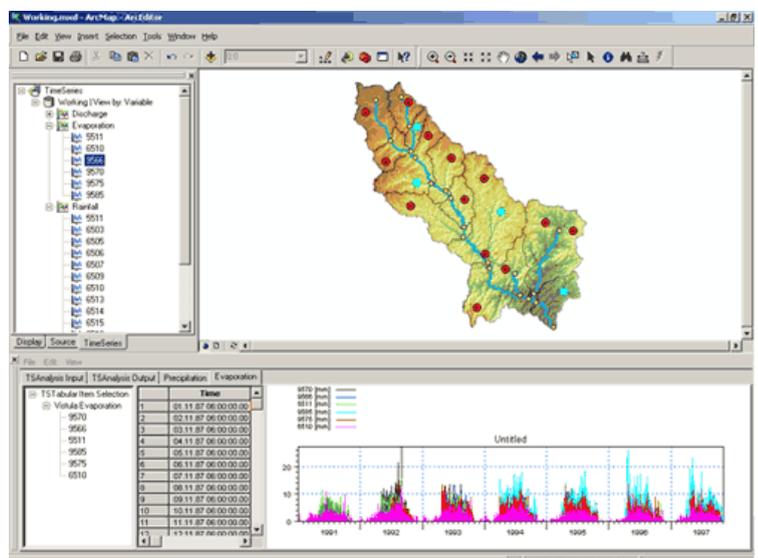
### 3.5.2.7 Geografischer Bezug von Zeitreihen

Das Geografische Informationssystem stellt ohne Zweifel den besten Zugang zu der übersichtlichen und ganzheitlichen Darstellung der Situation im Einzugsgebiet dar, indem man den gewünschten Ausschnitt vergrößert, die passenden Karten ein- oder ausblendet und die Symbolik justiert. Darüber hinaus möchte man noch auf ausgewählte Informationen zu definierten Lokalitäten zugreifen können, die indes nicht notwendig Bestandteil des „regulären“ GIS-Datenbestandes sind, d.h. keine Attribute der „Layer“ sind. Beispielsweise kann im GIS unter Verwendung eines Punktlayers die Lage von Entlastungsbauwerken der Stadtentwässerung angezeigt werden; die hydraulischen Parameter, Kennlinien und Konstruktionszeichnungen sind jedoch in separaten Datenquellen gespeichert. Mit Hilfe eines identifizierenden Schlüssels kann aus dem GIS heraus die Anzeige initiiert werden (Stichwort: „Hotlink“).

Auch Zeitreihen haben in aller Regel einen geografischen Bezug und die Möglichkeit zur Auswahl und Anzeige aus der Kartendarstellung bringt einen erheblichen Nutzen mit sich. Beispielsweise könnten auf Basis eines Layers für die Pegel eines Gewässersystems sowohl die zugehörigen Kurven der Wasserstand-Abfluss-Beziehung als auch die Zeitreihen der gemessenen Wasserstände als Ganglinien dargestellt werden. Es gibt Anstrengungen zur Implementation der Funktionalität zur Verwaltung, Darstellung und Auswertung von Zeitreihen in eine bestehende GIS-Software ({ArchHydro}, {DHITemp}, Abbildung 62). Hierbei tritt natürlich das Problem auf, dass der Anwender wiederum auf die Nutzung dieses GIS-Produktes eingeschränkt wird, obwohl er vielleicht bereits eine andere GIS-Software verfügt.

Gerade im Zusammenhang mit GIS und Zeitreihenverwaltung jedoch kann und sollte das modulare Konzept des *Decision Support Software Framework* in idealer Weise realisiert werden mit zwei voneinander unabhängigen Anwendungen. Es muss möglich sein, bei Verwendung eines gegebenen ZIS (z.B. WELLE) ein beliebiges GIS-Produkt zu verwenden, die über eine vorgegebene Schnittstelle miteinander kommunizieren. In der Sprache der betrieblichen Informatik verwendet man hierfür den Begriff *Enterprise Application Integration* (EAI).

In WELLE wurde zumindest eine behelfsmäßige Darstellung von GIS-Daten implementiert, indem im Explorer (3.5.2.1) Shapedateien und TIF-Dateien angezeigt werden können (Abbildung 63).



Quelle: [www.dhigroup.com/Software/WaterResources/TemporalAnalyst](http://www.dhigroup.com/Software/WaterResources/TemporalAnalyst)

Abbildung 62: Screenshot Temporal Analyst von DHI

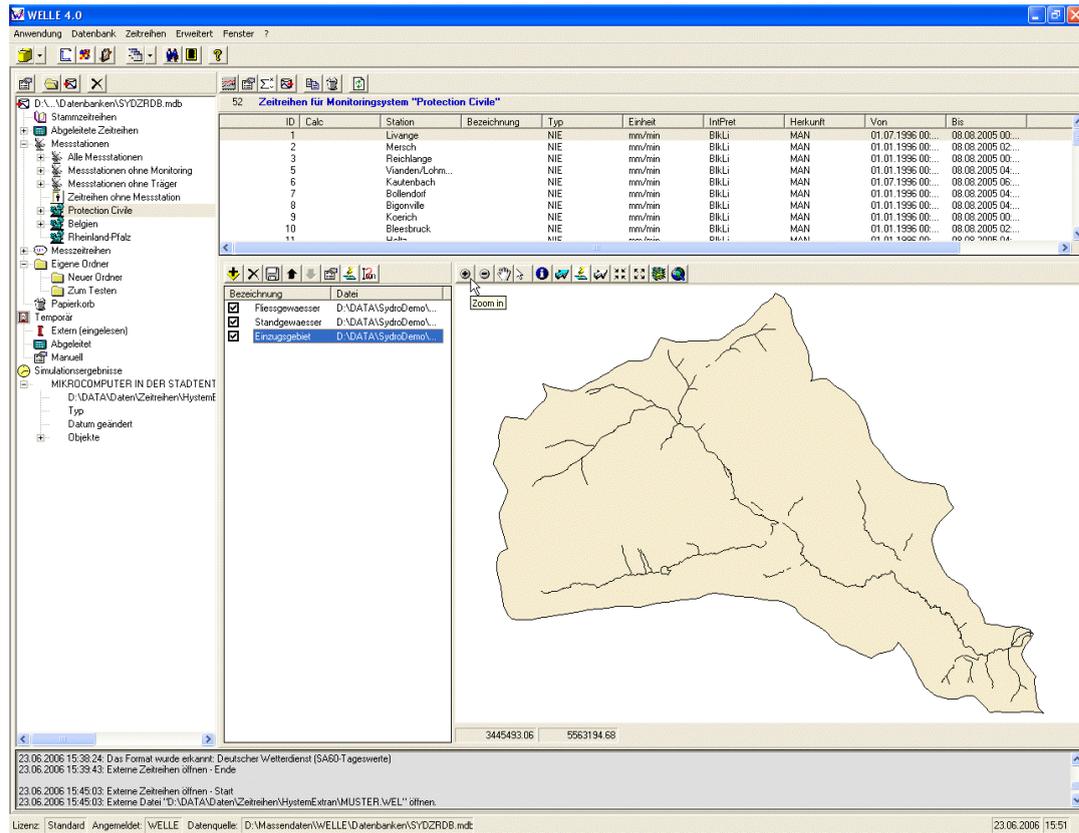


Abbildung 63: WELLE-Explorer mit Kartendarstellung

### 3.5.2.8 Zusammenfassung und Ausblick

Es existiert eine große Menge von Zeitreihendaten in vielen unterschiedlichen Formaten. Für die Praxis ist von enormer Bedeutung, dass diese Daten mit möglichst wenig Aufwand verfügbar gemacht, ausgewertet und verarbeitet werden können. Die Anwendung WELLE wurde speziell auf die praktischen Anforderungen ausgerichtet, indem z.B. die umfassende Funktionalität zum Datenaustausch oder zur schnellen Darstellung von Simulationsergebnissen implementiert wurde.

Die Komplexität der Problemstellungen im Zusammenhang mit der Zeitreihenverwaltung und -analyse führt naheliegenderweise zu entsprechenden Anforderungen an die Software. Die marktgerechte Fertigstellung hat sich infolge des Programmieraufwandes, der umfassenden Testfälle und dem Aufbau der Dokumentation und Online-Hilfe verzögert, so dass zum Ende des Projektes noch keine fertige WELLE -Installationsversion präsentiert werden kann.

Im ersten Schritt wird eine „Light“-Version von WELLE bereitgestellt werden, die ohne den Anschluss an eine Datenbank arbeitet, mit der also kein eigener WELLE-Datenbestand aufgebaut werden kann. Externe Daten aus unterschiedlichen Formaten können geöffnet, visualisiert und in anderen Formaten gespeichert werden.

Unter [www.sydro.de](http://www.sydro.de) (? Software) sind weitere Informationen zu finden. Zudem wird dort zu gegebener Zeit eine Evaluierungsversionen zum Herunterladen zur Verfügung gestellt.

## 3.6. Computermodelle

Die Computersimulation spielt eine zentrale Rolle im Decision Support und in der Planung. Ohne Computermodelle könnten die erforderlichen Untersuchungen im Hinblick auf die Auswirkungen von Maßnahmen nicht durchgeführt werden. Wie sollte man sonst eine Entscheidung für oder gegen eine Variante ausreichende begründen?

Es wäre natürlich ideal, den gesamten Problembereich mit einem einzigen Modell „abdecken“ zu können, das in der Lage ist, im Hinblick auf das hier diskutierte Einzugsgebietsmanagement sämtliche Maßnahmen abzubilden und deren Effekte in erforderlichem Umfang zu berechnen. In Kapitel 2.7.1 wurde bereits darauf hingewiesen, dass ein derartiges „Einzugsgebietsmodell“ nach dem heutigen Stand der Technik nicht existiert. Die Verhältnisse im Hinblick auf die integrierte Betrachtung der Situation und der Effekte sind ganz einfach zu komplex. Vielmehr wurden einige Modelltypen vorgestellt, die für jeweils eigene „Kompartimente“ zum Einsatz kommen können. Es werden damit Fragestellungen bearbeitet wie z.B. zum Abflussgeschehen in natürlichen Einzugsgebieten, zum Abflussgeschehen in städtischen Einzugsgebieten, zum Betrieb von Kläranlagen, zur Wasserversorgung, zum Betrieb von Speichern, zur Bewässerung, zur Wasserqualität in Fließgewässern, zur Umrechnung von Abfluss in Wasserstand u.a.

Für jede dieser Modelltypen existieren etliche Programmanwendungen verschiedener Anbieter, die sich mal mehr und mal weniger unterscheiden hinsichtlich Berechnungsalgorithmen, Funktionsumfang, Detaillierungsgrad, Datenbedarf, Ausgabe von Ergebnissen, Bedienung, Sprache, Systemvoraussetzungen u.a. Beispielsweise kann die Simulation der Abflussdynamik im Kanalsystem hydrologisch oder hydrodynamisch, oder mit und ohne Berechnung des Schmutzfrachttransports erfolgen. Hierfür stehen in Deutschland weit verbreitete Programme wie z.B. SMUSI [SMUSI1998], KOSIM [KOSIM2002], PROSIM-STORM [STORM2006], HYSTEM-EXTRAN [HYSTEXT2005] oder MOUSE [MOUSE2005] zur Verfügung, wobei diese Auswahl absolut keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt.

Es würde ein überaus schwieriges Unterfangen bedeuten und sehr viel Aufwand erfordern, eine umfassende Übersicht sämtlicher existierender Modellanwendungen zu geben, zudem diese infolge der Weiterentwicklungen ständig zu aktualisieren wäre.

Aufgrund der Komplexität im Hinblick auf die Entwicklung und den Einsatz von Computermodellen sowie der Heterogenität des Marktes wurde im Projekt WSM300 nicht die Absicht verfolgt

- einen Katalog verfügbarer Modelle zu erstellen,
- die Weiterentwicklung existierender Modelle zu betreiben,
- Vorgaben oder Empfehlungen hinsichtlich eines Modells auszusprechen.

In diesem Sinne waren Modelle also nicht Gegenstand der Untersuchungen, sondern es kamen in den Fallstudien lediglich ausgewählte Modelle zum Einsatz, wie es den entsprechenden Kapiteln zu entnehmen ist. Im Hinblick auf den Decision Support im Gewässerbeirat sind zwei Dinge von Bedeutung

- Welche Modelle für das Einzugsgebiet liegen bereits vor?
- Besitzen die Experten einen ausreichenden Überblick, über die „Modellwelt“? Können sie einschätzen, welche Modelle für ausgewählte Aufgabenstellungen am ehesten in Frage kommen, welche Kosten mit einem Einsatz verbunden sind, wie der mittel- bis langfristige Nutzen aussieht?

### 3.7. Bewertung - Nutzwertanalyse

Zentraler Baustein eines Decision Support Systems ist die Bewertung mit der Aufstellung einer Rangfolge für eine Anzahl von Handlungsalternativen, um daraus eine geeignete Option ableiten zu können. In Kapitel 2.8 wurde kurz darauf eingegangen, wie dieser Vorgang des „Vergleichens und Sortierens“ bei Vorliegen mehrerer zum Teil gegensätzlicher Zielvorstellungen mit Hilfe der Methoden der *multikriteriellen Analyse* systematisch betrieben werden kann.

Im vorliegenden Fall wurden die „Ausprägungen“ der Handlungsalternativen in der Entscheidungsmatrix strukturiert. Auf Basis dieser Matrix könnten nun unterschiedliche multikriterielle Verfahren zum Einsatz kommen. Die Situation im Gewässerbeirat motivierte zur Wahl der Nutzwertanalyse und zur Implementierung eines „einfachen“ Werkzeugs, das deren Anwendung anschaulich ermöglicht.

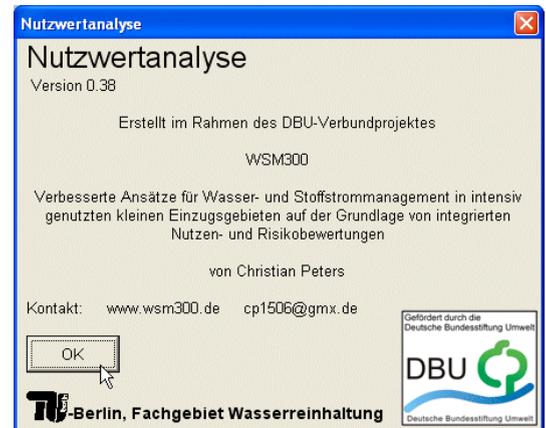


Abbildung 64: Excel-Bewertungstool

Aktualisieren		Neues Szenario		Szenarien 4			
Neue Zielvariable		Name		1.	2.	3.	4.
Zielvariablen 5		Kommentar		Ist-Zustand	Bodenfilter	Abkopplung 10%	BF+ABK
Nr.	Kurzbez.	Einheit	Name	altreeller Zustand ohne Maßnahmen	Regenwasserbehandlung in Retentionsbehandlung	Abkopplung von 10% der versiegelten Flächen	kombinierte Variante: Bodenfilter + Abkopplung
1.	HQ25	m3/s	Hochwasserabfluss HQ25	40.0	36.0	34.0	29.0
2.	HQ1	%	HQ1 (Abweichung vom potentiell natürlichen Zustand)	300.0	40	50	30
3.	PHF	kg/a	Phosphorfracht (Gesamt-P), ggf. abflussbezogen	990.0	710.0	910.0	680.0
4.	NF	kg/a	Stickstofffracht (Gesamt-N), ggf. abflussbezogen	12000.0	9400.0	9900.0	9300.0
5.	PKB	mio EUR	Projektkostenbarwert	0.0	5.8	3.8	9.8

Bedienungshinweise

- \* Eintragungen können nur in die gelb hinterlegten Felder vorgenommen werden.
- \* Um eine Zielvariable oder ein Szenario zu löschen, löschen Sie bitte alle Werte der Zeile bzw. Spalte und klicken dann auf 'Aktualisieren'.
- \* Die Zielvariablen / Szenarien werden automatisch nach der Spalte / Zeile Nr. sortiert dargestellt. Das Programm interpretiert die Zeile / Spalte 'Nr.' als Text um Eingaben wie 1.1.1 oder 1.2.a etc. zu ermöglichen. Damit '11' nicht vor '1' einsortiert wird kann statt '1' '01' oder ein '1' eingegeben werden.
- \* Mit der Schaltfläche Laden können xml-Dateien aus der www.wsm300.de Matrix geladen werden. Diese müssen zuvor einmal mit dem Windows-Editor geöffnet und mit der Codierung UTF-8 wieder gespeichert werden.

Navigation: Eingangsparameter / Nutzenfunktionen / Ergebnis / Ergebnisgrafik / Sensitivitätsanalyse

Abbildung 65: Excel-Bewertungstool – Eingangsparameter

Die Nutzwertanalyse ist prinzipiell unabhängig von der Problemstellung. Als Voraussetzung muss lediglich die Entscheidungsmatrix im Tabellenblatt *Eingangsparameter* ausgefüllt sein. In Abbildung 43 wurde bereits angedeutet, dass die im Gewässerbeirat aufgestellte Entscheidungsmatrix mit Hilfe einer xml-Schnittstelle in die Nutzwertanalyse übertragen werden kann. Das Ergebnis des Einlesens ist in Abbildung 65 dargestellt.

Im nächsten Schritt sind im Tabellenblatt *Nutzenfunktionen* für jede der Zielvariablen die Funktionen tabellarisch einzugeben. Per Knopfdruck wird aus den eingegebenen Werten der Funktionsverlauf erzeugt und für die einzelnen Varianten die Teilnutzwerte berechnet und im Balkendiagramm angezeigt.

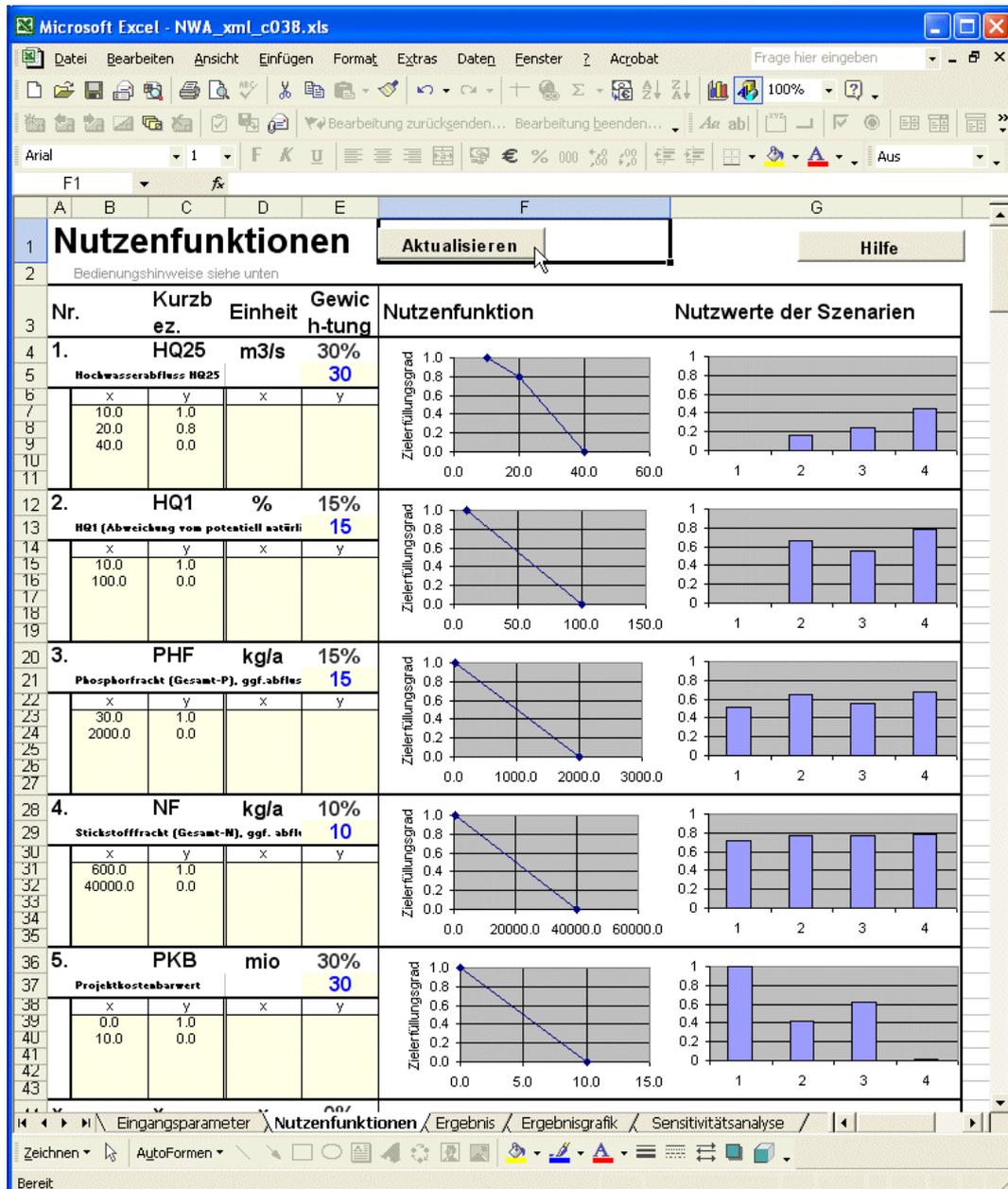


Abbildung 66: Excel-Bewertungstool – Nutzenfunktionen und Teilnutzwerte

Zielvariablen		Nr.	Kurzbz.	Einheit	Name	Kommentar	Gewichtung	Szenarien						
Nr.	Kurzbz.							Einheit	Name	Kommentar	Gewichtung	1.	2.	3.
1.	HQ25	m3/s	Hochwasserabfluss HQ25			30%	0.00	0.00	0.16	0.05	0.24	0.07	0.44	0.13
2.	HQ1	%	HQ1 (Abweichung vom potentiell natürlichen Zustand)			15%	0.00	0.00	0.67	0.10	0.56	0.06	0.78	0.12
3.	PHF	kg/a	Phosphorfracht (Gesamt-P), ggf. abflussbezogen			15%	0.51	0.08	0.65	0.10	0.55	0.08	0.67	0.10
4.	NF	kg/a	Stickstofffracht (Gesamt-N), ggf. abflussbezogen			10%	0.71	0.07	0.78	0.08	0.76	0.08	0.78	0.08
5.	PKB	mio EUR	Projektkostenwert			30%	1.00	0.30	0.42	0.13	0.62	0.19	0.02	0.01
<b>Summe</b>							<b>100.0%</b>	<b>0.45</b>	<b>0.45</b>	<b>0.50</b>	<b>0.43</b>			

Abbildung 67: Excel-Bewertungstool – Ergebnis

Die *Ergebnisgrafik* enthält für jede Variante einen Balken, der sich aus den Teilnutzwerten für die einzelnen Zielvariablen zusammensetzt und dessen Höhe den Gesamtnutzwert dieser Variante repräsentiert.

Die Modifikation der Nutzenfunktionen und/oder Gewichtungen der Zielvariablen erfordert lediglich geringen Aufwand. In relativ kurzer Zeit können also zahlreiche subjektive Standpunkte und deren Auswirkungen auf die Nutzwerte und Rangfolge der Varianten „durchgespielt“ werden.

Gerade im Gewässerbeirat bietet das also gute Möglichkeiten, unmittelbar und interaktiv auf Vorschläge hinsichtlich der Vorgaben für die Bewertung zu reagieren, die Ergebnisse sämtlichen Mitglieder präsentieren zu können, so dass auf diese Weise die besten Voraussetzungen für einen Diskurs gegeben sind.

Wurden in dem gerade beschriebenen Tabellenblatt auch die Gewichtungen eingegeben, befinden sich in der Matrix in *Ergebnis* sowohl die absoluten als auch die gewichteten Teilnutzwerte jedes „Fakts“ aus den Zellen der Entscheidungsmatrix (Abbildung 67). Diese Werte bilden die Grundlage für die Berechnung des Gesamtnutzens jeder Variante, der in der untersten Zeile als Summe der Teilnutzwerte eingetragen ist.

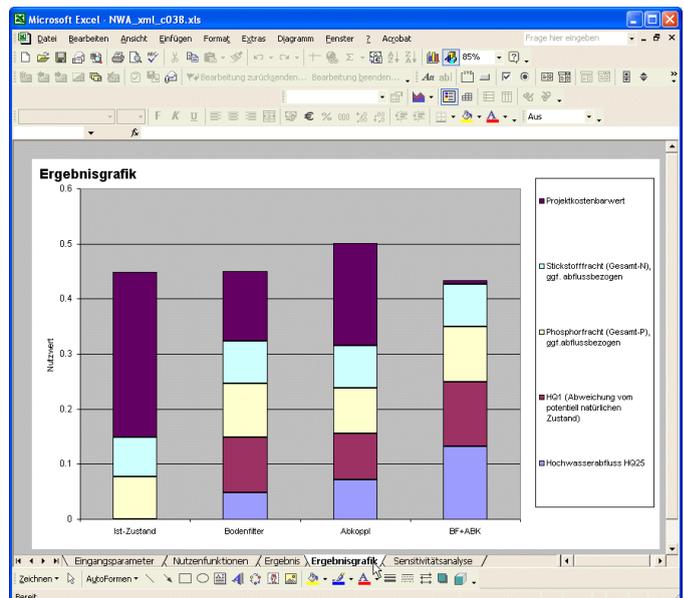


Abbildung 68: Excel-Bewertungstool – Ergebnisgrafik

Eine weitere Funktionalität der Excel-Anwendung besteht in der Durchführung einer Sensitivitätsanalyse hinsichtlich der Gewichtung einer Zielvariablen. Nach Wahl einer der Zielvariablen wird deren Gewichtung zwischen 0 und 100% in 10%-Schritten variiert, wobei der prozentuale Anteil der anderen Zielvariablen an der Restgewichtung jeweils konstant gehalten wird.

PKB	HQ25	HQ1	PHF	NF
0	43	21	21	14
10	39	19	19	13
20	34	17	17	11
30	30	15	15	10
...				
80	9	4	4	3
90	4	2	2	1
100	0	0	0	0

Soll beispielsweise von den fünf Zielvariablen (in Klammern die Gewichtungen) HQ25 (30%), HQ1 (15%), PHF (15%), NF (10%) und PKB (30%) ausgehend die Sensitivität hinsichtlich PKB untersucht werden, ergeben sich die Werte in Tabelle 11.

Für jede Verteilung der Gewichte ergibt sich für jede der Varianten ein neuer Nutzwert. Als Ergebnis erhält man eine Grafik, in der die Nutzwerte jeder Varianten eine Gerade gegenüber der Gewichtsvariation ergeben. Aus dieser Darstellung ist abzulesen, welche Bedeutung eine Zielvariable für eine Variante haben kann.

In Abbildung 69 sind die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse hinsichtlich des Projektkostenbarwerts grafisch dargestellt. Das

Gewicht des PKB kann zwischen etwa 20% und 40% variiert werden, ohne dass sich das bevorzugte Szenario ändert. Werden die Kosten mit mehr als 40% gewichtet kommt man zum Ergebnis, besser gar nichts zu tun (Ist – Zustand wird zum bevorzugten Szenario), bei einem Gewicht von unter 20% wird das kombinierte Szenario bevorzugt.

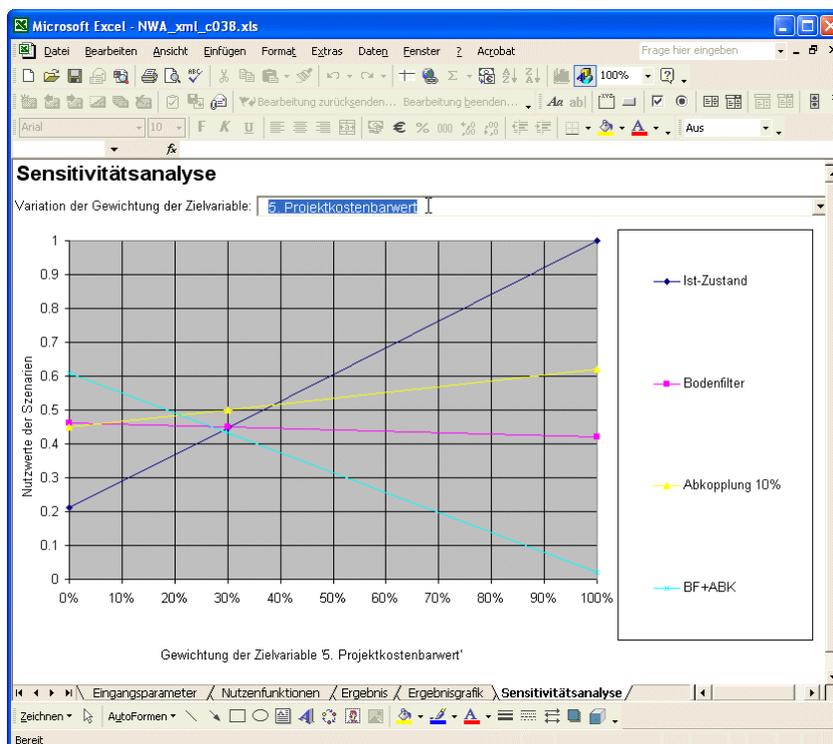


Abbildung 69: Excel-Bewertungstool – Sensitivitätsanalyse

### 3.7.1. Definition von Nutzenfunktionen und Gewichten

Nutzenfunktionen und Gewichte bilden gemeinsam die Präferenzen der Entscheidungsträger. Sowohl das Definieren der Nutzenfunktionen, als auch das Definieren der Gewichte stellen einen Bewertungsschritt dar.

#### 3.7.1.1 Messen und Maßskalen

Die Nutzenfunktionen messen den Nutzen eines Szenarios bezüglich einer Zielvariablen. Das bedeutet, dass jedem Wert einer Zielvariablen durch die Nutzenfunktion ein Nutzwert zugeordnet wird. Die Interpretation der Nutzwerte (=Messergebnisse) hängt vom so genannten Skalenniveau der Messung ab.

##### Verwendung einer Absolut-Skala

Dieses Prinzip liegt i.d.R. Produkttests aus Zeitschriften zu Grunde. Die Verwendung einer Absolut-Skala für alle Nutzenfunktionen ist wünschenswert, denn mit ihr lässt es sich am komfortabelsten weiterarbeiten. Allerdings sind die dazugehörigen Nutzenfunktionen auch am schwierigsten zu definieren. Die Verwendung einer Absolut-Skala bedeutet, dass es gelingen muss, die Nutzenfunktionen so zu definieren, dass der Nutzwert 0 immer „sehr schlecht“ (-, Schulnote 6) bedeutet und der Nutzwert 1 immer „sehr gut“ (++, Schulnote 1). Klingt trivial? Ist es aber nicht. Was z.B. ist denn ein „sehr schlechter“ Wert für das HQ<sub>50</sub>? Und was ist ein „sehr schlechter“ Wert für die jährliche P-Fracht?

Wenn es gelingt die Nutzenfunktionen so zu bestimmen, dann und nur dann kann im zweiten Schritt losgelöst von den Nutzenfunktionen über die Gewichte der einzelnen Zielvariablen diskutiert werden. Und nur dann darf hinterher das Ergebnis der Nutzwertanalyse mit der gleichen Skala interpretiert werden, d.h. nur dann bedeutet ein Gesamtnutzwert 1 ein „sehr gut“ (++, Schulnote 1) und eine 0 ein „sehr schlecht“ (-, Schulnote 6). Die absoluten Nutzwerte haben eine Bedeutung, Aussagen wie „Szenario A ist doppelt so gut wie Szenario B“ sind zulässig (d.h.: es ist zulässig, Verhältnisse zwischen Nutzwerten zu bilden).

##### Verwendung von Intervall-Skalen

Bei der Verwendung von Intervall-Skalen dürfen die Nutzenfunktionen völlig willkürlich definiert werden: z.B. „schlechtester Wert der Zielvariable“ = 0, „bester Wert der Zielvariable“ = 1.

Warum heißt es hier Intervall-Skalen und im vorigen Abschnitt Absolut-Skala? Ganz einfach, da es sich um *unterschiedliche* Skalen handelt. Liefern Beispielsweise alle Szenarien bezüglich der P-Fracht „mittlere“ bis „gute“ Werte, so würde nach dem oben dargestellten Prinzip der Nutzwert 1 einem „gut“ und der Nutzwert 0 einem „mittel“ entsprechen. Für eine andere Zielvariable würde sich die Nutzenfunktion vielleicht von „sehr schlecht“ bis „schlecht“ erstrecken, usw.

Die einfache Definition der Nutzenfunktionen wird mit vielen Nachteilen erkauft: Die Gewichte dürfen jetzt nicht mehr losgelöst von den Nutzenfunktionen diskutiert werden, sondern Nutzenfunktionen und Gewichte müssen durch das so genannten „Trade-Off“ Prinzip verbunden werden. Dies wird anhand der folgenden Abbildung dargestellt, in der exemplarisch zwei Nutzenfunktionen dargestellt sind:

Wenn sich die P-Fracht um 3000 kg/a verringert verändert sich der Nutzwert von 0 auf 1 also um 1. Multipliziert mit dem Gewicht von 10% ergibt das im Endergebnis einen Nutzen von 0,1. Werden die Kosten von 2 Mio. € auf 1 Mio. € gesenkt, erhöht sich der Nutzwert von 0 auf 0,5 also um 0,5. Multipliziert mit dem Gewicht von 20% ergibt das im Endergebnis ebenfalls einen Nutzen von 0,1. Das bedeutet: Eine Reduktion der P-Fracht um 3000 kg/a ist den Entscheidungsträgern 1 Mio. € wert.

Nach diesem Prinzip müssen alle Nutzenfunktionen gegeneinander abgewogen werden, um die Gewichte zu bestimmen.

Auch die Interpretation der Ergebnisse ist deutlich vorsichtiger vorzunehmen als bei der Verwendung einer Absolut-Skala. Ein Gesamtnutzwert von 0 bedeutet in der Regel nicht „sehr schlecht“ genauso wenig wie ein Gesamtnutzwert 1 „sehr gut“ bedeuteten muss. Daraus folgt, dass die *absolute* Größe der Nutzwerte keine Bedeutung hat. Ebenso sind Aussagen wie „Szenario A ist doppelt so gut wie Szenario B“ nicht zulässig (d.h.: es ist nicht zulässig, Verhältnisse zwischen Nutzwerten zu bilden).

Zulässig sind Interpretationen der Art „Szenario A ist besser als Szenario B“ oder auch die Veränderung gegenüber Szenario X ist beim Szenario A doppelt so groß wie beim Szenario B (d.h.: es ist zulässig, Verhältnisse der Intervalle zwischen Gesamtnutzwerten zu bilden).

### 3.7.1.2 Einige Bemerkungen zum Schluss

Nicht selten wird die Nutzwertanalyse derart angewandt, dass Nutzenfunktionen für Intervall-Skalen definiert werden, für die Diskussion der Gewichte und die Interpretation der Ergebnisse wird dann aber so getan, als hätte man Absolut-Skalen. Dies ist falsch! Um diesem Verhalten zumindest ein wenig entgegenzuwirken, können die Gewichte nur auf dem Tabellenblatt mit den Nutzenfunktionen eingetragen werden (Abbildung 70).

Nr.	Kurzbez.	Einheit	Gewichtung	Nutzenfunktion
4.	P	kg/a	10%	
	Phosphorfracht (Gesamt-P)		10	
	x	y	x	
	0	1,00		
	3000	0,00		
6.	PKB	1.000 €	20%	
	Projektkostenbarwert		20	
	x	y	x	
	0	1,0		
	2000	0,0		

Abbildung 70: Excel-Bewertungstool – Nutzenfunktionen und Gewichte bearbeiten

Es ist möglich für einige Zielvariablen Nutzenfunktionen für die Absolut-Skala zu definieren und für andere Intervallskalen zu verwenden. Für die Untermenge der Zielvariablen mit Absolut-Skala gelten die Ausführungen zur Absolut-Skala, für alle anderen und das Gesamtergebnis die Ausführungen zur Intervall-Skala.

Der Mathematiker unter den Lesern möge dem Autor die mathematisch unpräzise Ausdrucksweise nachsehen. Ziel der Ausführungen war ist, dem Anwender wichtige Zusammenhänge verständlich zu machen, was im direkten Zielkonflikt mit der mathematischen Exaktheit steht. Exakte Definitionen sind in [ZimGut1991] zu finden.

Informationen für die Öffentlichkeit

*Decision Support* hat gemäß dem vorgestellten Konzept den Zweck, „entscheidungsrelevante Informationen“ bereitzustellen. Das umfasst zum einen sämtliche Schritte zu deren Beschaffung, indem die Verhältnisse im Einzugsgebiet analysiert, Ziel formuliert, Varianten aufgestellt, Simulationen durchgeführt und Ergebnisse ausgewertet werden. Darüber hinaus gilt es, Informationen in angemessener Weise zu präsentieren und die Diskussion und Kommunikation zwischen den an der Entscheidungsfindung beteiligten Personen zu unterstützen. Auf diesen zweiten Aspekt der Präsentation und Kommunikation beziehen sich die knappen Ausführungen in diesem Kapitel. Jeder kennt mittlerweile die Perspektiven, die das Internet zur Adressierung eines größeren Publikums und als Plattform zum Austausch von Informationen bietet.

Ein *WebGIS* bietet die Funktionalität zur interaktiven Darstellung von Karten im Internetbrowser, worin z.B. der angezeigte Ausschnitt gewählt wird oder Layer ein- oder ausgeblendet werden können. Abbildung 71 verdeutlicht, wie eine derartige Anwendung in der Fallstudie Saldenbach realisiert wurde.

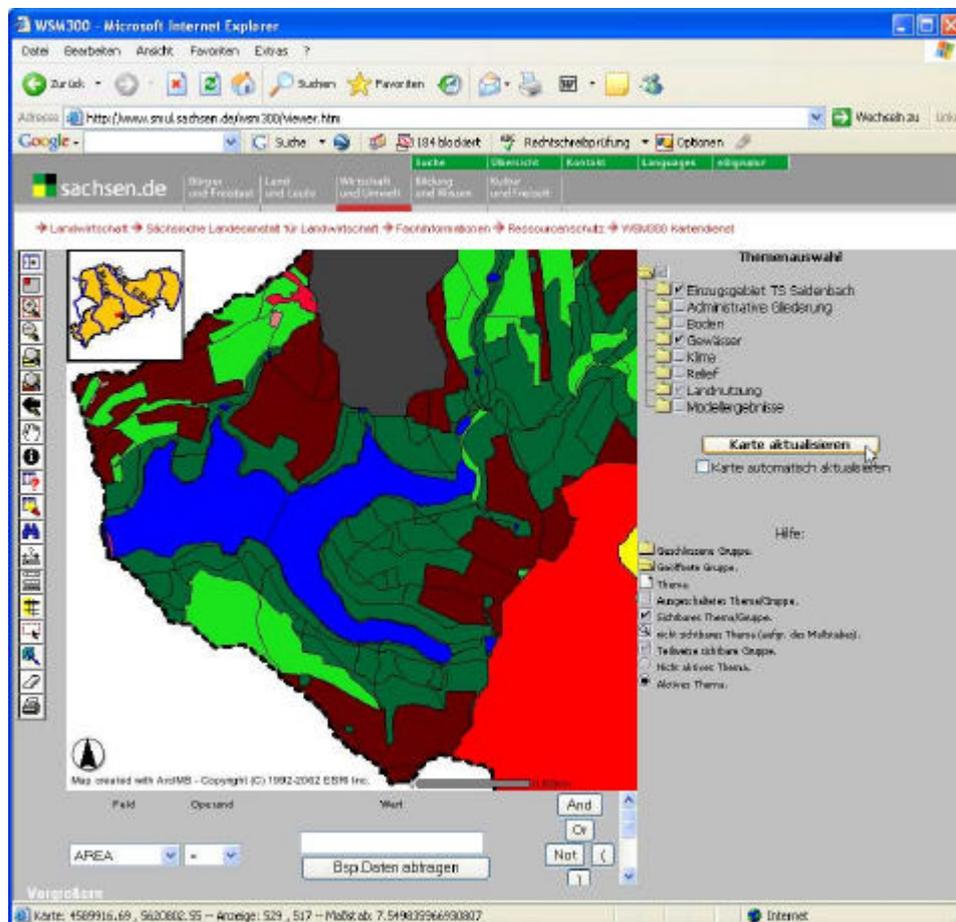


Abbildung 71: Öffentlichkeit – Saldenbach WebGIS

Eine weitere Möglichkeit zur Bereitstellung von GIS-Daten für die Allgemeinheit besteht in der Einrichtung eines GIS-Servers und der Nutzung der *Web Map Services* (WMS), die vom *Open Geospatial Consortium* (OGC) als Standard spezifiziert wurden ([WMS2006], {OpenGIS}).

Im Hinblick auf die Arbeit des Gewässerbeirats bietet es sich an, eine eigene Internetpräsenz aufzustellen, die es ermöglicht, sowohl Ereignisse, Entwicklungen, Ergebnisse und Erkenntnisse einer breiten Öffentlichkeit zu vermitteln als auch die Abgabe entsprechender Kommentare ermöglicht. Eine derartige „Homepage“ mit einem Unterpunkt „Forum“ wurde z.B. in der Fallstudie Modau erstellt (Abbildung 72). Das größte Problem bei der Nutzung des Internet für die Verbreitung von Informationen an die „breite“ Öffentlichkeit besteht darin, dass auch der halbwegs versierte Internetnutzer nicht in der Lage sein dürfte, das generelle Angebot an unterschiedlichsten Informationen zu überblicken. Insofern dürfte die Resonanz aus dieser Richtung relativ gering einzuschätzen sein.



Abbildung 72: Öffentlichkeit – Modau im Internet

Von erheblichem größerem Nutzen sind die Möglichkeiten, die das Internet bietet, indes für den Gewässerbeirat selbst, dessen Mitglieder über die Inhalte und Möglichkeiten der Internetseiten informiert sind. Beispielsweise kann auf den Seiten des im Internet verfügbaren Panke –Informationssystems die Entscheidungsmatrix aufgestellt und bearbeitet werden, wie es in Kapitel 3.3 beschrieben wurde.

## 3.8. Zusammenfassung: Decision Support

Der Gewässerbeirat und auch die „eigentlichen“ Entscheider müssen mit entscheidungsrelevanten Informationen versorgt werden. Das kann in diesem umfangreichen Prozess der Analyse des Ist-Zustandes, der Untersuchung von Szenarien und Diskussion deren Vor- und Nachteile auf vielfältige Weise stattfinden.

Hierfür wurde in diesem Kapitel zunächst das passende Konzept beschrieben, das nicht die Software *Decision Support System* in den Vordergrund stellt sondern vielmehr *Decision Support* als Dienstleistung versteht, die von entsprechenden Experten in diesem Prozess geleistet wird.

In Anlehnung an (a) den Kontext „Einzugsgebietsmanagement“ und (b) die Methodik, die durch Aufstellung und Auswertung der Entscheidungsmatrix als Rahmen für die Entscheidungsfindung gegeben ist, wurden notwendige und nützliche Softwarekomponenten vorgestellt, die in den „Werkzeugkasten“ der Experten gehören.

Hierbei entsteht nicht zuletzt „Klasse durch Masse“: Wird die Effizienz der Szenarienrechnungen erhöht, können zusätzliche Varianten durchgespielt werden und man erhält einen gründlicheren Überblick über den Entscheidungsraum. Ein weiterer zentraler Bestandteil des Decision Support besteht darin, die Computerwerkzeuge für die angemessene Darstellung der Problematik zu nutzen und auf diese Weise für eine höhere Effektivität von Präsentationen zu sorgen.

### Decision Support allgemein

- nicht „Decision Support System“ als eigenständige Anwendung, sondern „Decision Support Concept“ (DSC) zur Bereitstellung entscheidungsrelevanter Informationen (Orientierung an den Schritten im Entscheidungsprozess)
  - DSC = Daten + Software + User
- Der Block „Software“ setzt sich aus einzelnen Komponenten mit unterschiedlicher Funktionalität zusammen. Es handelt sich zum Teil um separate Anwendungen.
- Bedeutung des „Users“ im *Decision Support Concept*
  - hat Ahnung von der fachlichen Problematik
  - kennt den „Bestand“ (Daten, Methoden, Werkzeuge)
  - kann Softwarekomponenten bedienen
  - mit kommunikativen Fähigkeiten
- WSM300 macht keine weiteren detaillierten Angaben zu *Daten* oder *User*

### Elementare Softwarekomponenten

- Geografisches Informationssystem (Basiskomponente!)
- Zeitreihenmanagement
- Entscheidungsmatrix aufstellen
- Computermodelle
- Vergleichende Bewertung

### **Aufstellung und Bearbeitung der Entscheidungsmatrix**

- Webbasiertes Tool (Pilotanwendung) ermöglicht folgende Schritte:
  - Ziele festlegen (Spalten)
  - Maßnahmenvarianten formulieren (Zeilen)
  - Fakten eintragen (Zellen)
- Unterstützung durch interaktiven Zugriff auf Kataloge
  - Ziele
  - Maßnahmen
- Datenaustausch für anschließende Bewertung

### **Fakten bestimmen**

- Einsatz von Simulationsmodellen
  - WSM300 beinhaltet keine Modellentwicklungen
  - in vielen Fällen durch bereits existierende Modelle (Programme, Datensätze) vorgegeben
- Aggregation, Transformation und statistische Auswertung von Zeitreihen
  - hier erhebliche Effizienzsteigerungen möglich
  - an unterstützender Software wird noch gearbeitet

### **Vergleichende Bewertung**

- Einfaches Excel-Tool zur interaktiven Durchführung der Nutzwertanalyse

## 4. Fallstudie Panke

### 4.1. Das Einzugsgebiet

Das 200 km<sup>2</sup> große Einzugsgebiet der Panke liegt etwa zur Hälfte in Brandenburg und Berlin (s. Abbildung 73). Der Name „Panke“ ist slawischen Ursprungs und bedeutet „Fluss mit Strudeln“. Das Gewässer entspringt westlich von Bernau und fließt in südlicher Richtung durch den geschiebelehmgelagerten Barnim, um dann in Berlin in das sandige Urstromtal in der Stadtmitte Berlins in die Spree zu münden.

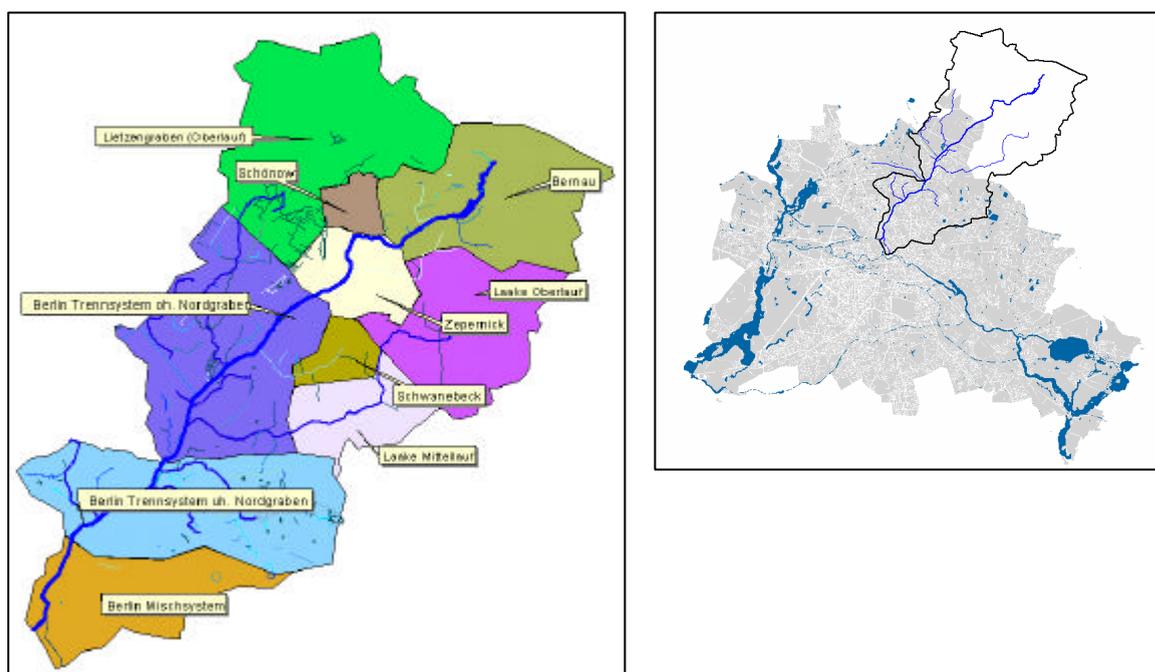


Abbildung 73: Teileinzugsgebiete der Panke und Lage der Panke im Großraum Berlin

Die Panke wird von der Quelle bis zur Mündung von zunehmender Urbanität geprägt. Im Laufe der Jahrhunderte wurde das Gewässer durch eine Vielzahl von Nutzungen (Industrie, Heilbad, etc.) stark in ihrem Lauf (Breite und Tiefe) verändert. Naturähnliche Verhältnisse gibt es nur noch im Oberlauf. Auch heute liegt der Mündungsbereich in einer der am stärksten beanspruchten Flächen ganz Deutschlands.

Die Panke wird morphologisch als „sanddominierter Bach der jungglazialen Urstromtalniederungen“ bezeichnet, dessen Referenzgewässer das Demnitzer Mühlenfließ (Brandenburg, östlich von Berlin) ist. Vor der Besiedlung und Veränderung der Panke entstanden besonders im Ober- und Unterlauf der Panke in der Talaue Moore, die extrem geringes Gefälle aufwiesen. Die Panke und ihre Aue wären im natürlichen Zustand unbewachsen, Bäume am Ufer gäbe es nicht. Der Fluss würde stark mäandrieren, die Dynamik des Abflusses wäre eher sehr gering. Die heutigen Höhenunterschiede im Einzugsgebiet liegen bei 55m. (90m auf der Barnimhochfläche und 35 an der Mündung in die Spree).

Die heutige Morphologie hat mit der ursprünglichen kaum etwas gemeinsam. Eine Gewässerstrukturgütekartierung (BÖHME 97) weist für die Panke über weite Strecken merklich bis stark geschädigte Bereiche aus (Klasse 5 und 6). Das Ufer der Panke ist begradigt, z. T. befestigt. Die Panke wurde vertieft und weist im Berliner Raum praktisch keine natürlichen Profile auf.

Die Panke führt bei Mittelwasser etwa  $1,3 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Bei einem Hochwasser am 11. Juni 1980 stieg der Abfluss auf ca.  $40 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Dieses Hochwasser brachte solche Überflutungen, dass einige Keller an ihren Ufern ausgepumpt werden mussten. Zur Hochwasserentlastung der Panke wurde der Nordgraben angelegt, mit dem die Panke in Blankenburg über ein Verteilerbauwerk regelbar verbunden ist. Der Nordgraben reduziert den Abfluss im Unterlauf der Panke bei Hochwasser um max.  $9,8 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dennoch bleibt das Umland der Panke bei Hochwasser gefährdet. Die ständig wachsenden Einleitungen in die Panke heben die Hochwasserentlastung des Nordgrabens fast völlig auf.

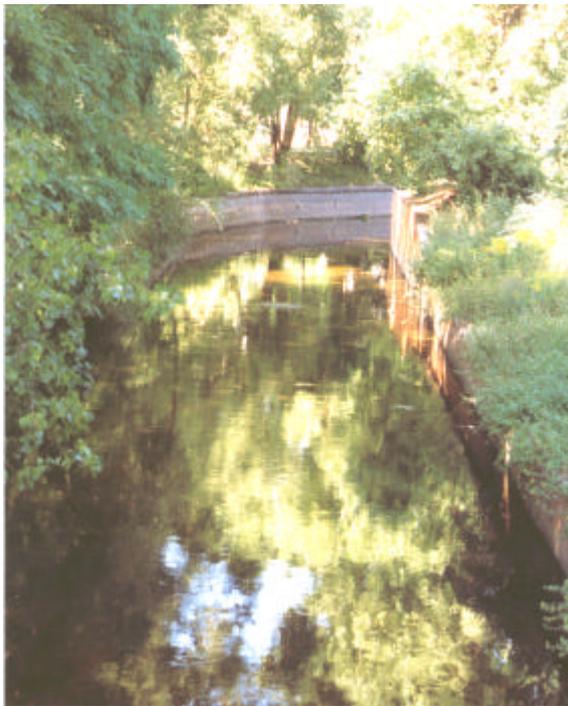


Abbildung 74: Die Panke heute und damals

An der Mündung des Nordgrabens in den Tegeler See befindet sich die Oberflächenwasseraufbereitungsanlage (OWA) Tegel. Zur Sanierung des durch Eutrophierung gefährdeten Tegeler Sees, aus dem durch Uferfiltration Trinkwasser gewonnen wird, wird das zufließende Wasser hier entphosphatet. Die Gewässerqualität der Panke ist nach LAWA in die Güteklassen II-III bzw. III einzuordnen (Klein, 1998).

Während die Panke im Oberlauf viel unversiegeltes Einzugsgebiet aufweist, nimmt der urbane Charakter nach Süden immer mehr zu. Die brandenburgischen Städte und Gemeinden sowie der überwiegende Anteil des Berliner Einzugsgebietes entwässern im Trennsystem in die Panke. Etwa 10% des Einzugsgebietes vor der Mündung in die Spree werden durch ein Mischsystem entwässert. In Berlin fließt das Schmutz- und Mischwasser zentralen Pumpwerken zu, von denen aus es über ein Druckrohrleitungsnetz zu den Klärwerken gefördert wird. Das Schmutz- und Mischwasser des

Einzugsgebietes der Panke wird überwiegend in der Kläranlage Schönerlinde behandelt, die sich nördlich des Panke Einzugsgebietes befindet (siehe Abbildung 79). Der Ablauf der Kläranlage wird über den Blankenfelder Graben und den Nordgraben zur OWA-Tegel geleitet.

Zur Geschichte der Panke wird auf Informationen im PankIS (Kap. 4.6.1) verwiesen.

## 4.2. Defizite der Panke

Aufbauend auf den Tag der Panke (siehe 4.6.1) wurde in Treffen mit den Berliner Wasserbetrieben (BWB) und der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung weiter herausgearbeitet, welches die dringlichsten Probleme im Einzugsgebiet sind. Diese sind im Folgenden dargestellt (Auf die in Klammern dargestellten Kürzel am Ende eines Absatzes wird im 4.5 Szenarien zurückgegriffen):

- Mischwasserentlastungen in die Panke (MISCH)
- Hydraulische Belastung der Panke aus dem Trennsystem, die aus ökologischen Gründen und aus Gründen des Hochwasserschutzes ein Problem darstellt, und die damit verbundenen stofflichen Belastungen (TRENN)
- Auf der sog. Barnimhochfläche gibt es Wohngebiete, in denen nur ein Schmutzwasserkanal und kein Regenkanal vorhanden ist. Dies führt bei Regenwetter zu den beiden folgenden Problemen:
  - Ungenügende Regenentwässerung (ENTW)
  - Ein nicht unerheblicher Teil des Regenwassers gelangt in den Schmutzwasserkanal, was zu einer starken hydraulischen Belastung der Kläranlage führt. (KA)
- Bei Kläranlagen, die im Freigefälle beschickt werden, erfolgt mit Erhöhung des Zuflusses bei Regenwetter gleichzeitig eine Verdünnung des Abwassers. Im Druckrohrleitungsnetz hingegen befindet sich bei einsetzender Mischwasserförderung noch Abwasser mit (den hohen) Trockenwetterkonzentrationen, das nun mit einem hohen Volumenstrom auf die Kläranlage gefördert wird. Dies führt zu einem enormen Frachtstoß auf die Kläranlage. (KA)
- In einigen Gebieten gibt es steigende Grundwasserstände, was zu einer Vernässung von Kellern führt. (VERN)
- Die Gewässerstrukturgüte ist in vielen Abschnitten stark bzw. vollständig verändert. (Stru)
- Geringe Niedrigwasserabflüsse in der gesamten Panke, insbesondere unterhalb des Verteilerbauwerks Blankenburg, mit dessen Hilfe Wasser durch den Nordgraben und die Oberflächenwasseraufbereitungsanlage (OWA) Tegel in den Tegeler See übergeleitet wird. (NW)
- Sanierung des Tegeler Sees durch Einleitung von in der OWA-Tegel entphosphatetem Wasser. Hierzu ist eine Mindestwassermenge nötig. Diese setzt sich wie folgt zusammen: Ablauf KA Schönerlinde, Überleitung von Pankewasser über den Nordgraben, Tegeler-Fließ, Überpumpen von Havelwasser durch eine Seeleitung (teuer) (WasserMengeOWA)

### 4.3. Zielvariablen für die Panke

Im Zielvariablenkatalog werden die Zielvariablen erläutert. Für die Panke als Fließgewässer wurden entsprechend den herausgearbeiteten Defiziten Zielvariablen aus dem Katalog ausgewählt. Die Erarbeitung der Zielvariablen für die Panke erfolgte in Zusammenarbeit mit der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, den Berliner Wasserbetrieben und dem Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (Dr. Martin Pusch). Ein besonderer Schwerpunkt der Arbeiten lag auf der Hauptgruppe 1 „Ökologischer und chemischer Zustand des Gewässers und seines Umfeldes“.

Tabelle 12: Zielvariablen für die Panke

Hauptgruppe		Einheit
	Gruppe	
	Zielvariable	
	Kurzbeschreibung	
<b>1. Ökologischer und chemischer Zustand des Gewässers und seines Umfeldes</b>		
	1. Hydrologie	
X	<b>1. HQ<sub>1</sub> (Abweichung vom potentiell natürlichen Zustand)</b>	%
	Bewertung des hydraulischen Stresses für die Biozönose - in Anlehnung an BWK M3	
X	<b>2. MNQ (Abweichung vom potentiell natürlichen Zustand)</b>	%
	Zur Bewertung des erforderlichen Niedrigwasserabflusses im Gewässer aus ökologischen Gesichtspunkten.	
	2. Physikalisch-chemische Größen	
X*	<b>1. Sauerstoffkonzentration, 9-er Matrix</b>	mg/l
	Zur Bewertung <b>akuter</b> Sauerstoffdefizite in Abhängigkeit von der Dauer und Auftrittswahrscheinlichkeit der Ereignisse	
X	<b>2. Phosphorfracht (Gesamt-P), ggf. abflussbezogen</b>	kg/a o. mg/l
	Wichtigster Nährstoff für die Eutrophierung von Gewässern, insbesondere Seen. Frachten resultieren aus Siedlungsentwässerung und landwirtschaftlicher Nutzung (Erosion).	
X	<b>3. Stickstofffracht (Gesamt-N), ggf. abflussbezogen</b>	kg/a o. mg/l
	Nährstoff, Eutrophierung von Gewässern, insbesondere Meere. Frachten resultieren aus Siedlungsentwässerung und landwirtschaftlicher Nutzung.	
X**	<b>4. Ammoniakkonzentration (NH<sub>3</sub>-N), 9-er Matrix</b>	mg/l
	Zur Bewertung <b>akut toxischer</b> Ammoniakkonzentrationen, Sauerstoffdefizite in Abhängigkeit von der Dauer und Auftrittswahrscheinlichkeit der Ereignisse	
X	<b>5. Abfiltrierbare Stoffe (AFS) - Fracht, ggf. abflussbezogen</b>	kg/a o. mg/l
	Aus Siedlungsentwässerung und durch Erosion aus der Landwirtschaft Sedimentation der AFS führt zur Zusetzung des hyporheischen Interstitials (Porengefüge am Gewässergrund), welches einen wichtigen Lebensraum darstellt. Viele Schadstoffe werden zu einem großen Teil an die Feststoffe adsorbiert und mit ihnen transportiert	
	<b>6. Schwermetallfrachten, ggf. abflussbezogen</b>	kg/a o. mg/l
	Toxisch für das aquatische Ökosystem und den Menschen, akkumulieren im Ökosystem.	
	<b>7. Frachten von Industriechemikalien, Medikamentenreste u.a., ggf. abflussbezogen</b>	kg/a o. µg/l
	Vielzahl von Stoffen mit stark unterschiedlichem Verhalten in Kläranlage, Gewässer und bei der Trinkwasseraufbereitung. Stellvertretend: 17a-Ethinylestradiol (Empfangnisverhütungsmittel, in Gewässern z.T. oberhalb der Wirkschwelle vorhanden) und Carbamazepin (Antiepileptikum, kaum Elimination in Kläranlage und bei Uferfiltration). Generell besteht hier noch großer Forschungsbedarf, Abschätzung möglich.	
	<b>8. Mikrobiologische Parameter (Krankheitserreger)</b>	
	Pathogene Mikroorganismen. Verwendung wünschenswert. Modellierbarkeit jedoch fraglich.	

	3. Morphologie	
	<b>1. Gewässerstrukturgüte (LAWA)</b>	
	<i>Beinhaltet u.a. die Qualitätskomponenten:</i>	
	<b>Durchgängigkeit (Querbauwerke), Tiefen- und Breitenvarianz, Struktur und Substrat des Flussbettes, Struktur der Uferzonen, Strömungsdiversität</b>	
	4. Sonstige	
	<b>1. Zulaufmenge Karower Teiche</b>	m <sup>3</sup> /s
X***	Spezifisch für Fallstudie Panke. Das Biotop im EZG leidet unter Wassermangel, und eine gewisse Mindestzulaufmenge ist aus ökologischen Gesichtspunkten wünschenswert.	
	5. Emissionsorientierte Zielvariablen	
	Aus technischen Regeln oder Gesetzen. Werden in der Regel bereits beim Entwurf der Szenarien berücksichtigt. Je nach lokaler Problemlage können einzelne Zielvariablen in den Katalog aufgenommen werden. Ggf. ist ein gewisser Abstand zu den Grenzwerten oder eine hohe Unterschreitungssicherheit wünschenswert.	
<b>2. Mengenmäßiger, physikalischer und chemischer Zustand des Grundwassers und Bodens</b>		
	1. Grundwasserquantität	
	<b>1. Abweichung vom natürlichen Wasserhaushalt</b>	%
	Gut modellierbare Größe zur indirekten Erfassung der Grundwassermengenproblematik	
	2. Grundwasserqualität	
	<b>2. Schwermetallfrachten in das Grundwasser</b>	kg/(ha*a)
	z.B. aus Regenwasserversickerung.	
	3. Boden	
	<b>1. Schwermetallfrachten in den Boden</b>	kg/(ha*a)
	Als Boden in diesem Sinne wird nicht die planmäßig und kontrolliert zur Filterung in Versickerungsanlagen eingebrachte belebte Bodenzone verstanden.	
<b>3. Nutzungsansprüche des Menschen</b>		
	1. Hochwasserschutz	
X	<b>1. HQ<sub>x</sub>, x=50</b>	m <sup>3</sup> /s
	Abfluss des x-jährlichen Hochwassers im Gewässer. Zum Vergleich von Hochwasserrisiken. x=50 wurde gewählt, da noch mit guter Wahrscheinlichkeit prognostizierbar.	
	2. Entwässerungskomfort	
	<b>1. Überstauhäufigkeiten für Schächte nach DIN EN 752 bzw. ATV A118</b>	
	Zur Beschränkung des Überstauens von Schächten von Regen-/Mischwasserkanälen	
	<b>2. Grundwasserflurabstand</b>	m
	Ein gewisser Mindestgrundwasserflurabstand kann gewünscht sein, wenn Vernässung von Kellern droht. Berechnung für die Panke im Rahmen des Projektes nicht leistbar	
	3. Naherholung	
	<b>1. Punktzahl in Abhängigkeit von</b>	-
	<b>Flächengröße, Erholungswert, Erreichbarkeit</b>	
	Möglichkeit der Nutzung der Erholungsflächen für die im Umkreis lebenden Menschen. Je schöner und größer die Fläche und je mehr Menschen in ihrer Nähe wohnen, desto mehr Punkte.	
	4. Sonstige	
	<b>1. Zulaufmenge Oberflächenwasseraufbereitungsanl. (OWA) Tegel</b>	m <sup>3</sup> /s
	Spezifisch für Fallstudie Panke. Das Wasser wird dort entphosphatet und zur Sanierung des Tegeler verwendet.	
X****	<b>2. Speisung der Südpanke</b>	m <sup>3</sup> /s
	Aus Stadtplanerischen / ästhetischen Gesichtspunkten wird eine gewisse Wassermenge für diesen (ökologisch eher unbedeutenden, da über große Strecken verrohrten) Gewässerabschnitt gewünscht.	
<b>4. Ökonomie</b>		
	<b>1. Projektkostenbarwert</b>	

	<i>Differenziert nach Kostenträger</i>	
	a. Öffentliche Hand	
	b. Bürger	
	c. Unternehmen (Wasserver- und -entsorger)	

**X\*:** Als Ersatzgröße CSB-Fracht im Gewässer gewählt

**X\*\*:** Als Ersatzgröße Ammonium-Fracht ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) im Gewässer gewählt

**X\*\*\*:** Zulaufmengen ermittelt. Zu sinnvollen Szenarien weiterer Klärungsbedarf

**X\*\*\*\*:** Verweis auf Bericht Südpanke

Das verwendete ATV-Gewässergütemodell stellte sich als für die Fragestellung nicht geeignet heraus (vgl. Kap. 4.4.4). Daher mussten die immissionsorientierten Zielvariablen ( $\text{O}_2$ -Konzentration,  $\text{NH}_3$ -Konzentration) durch emissionsorientierte Zielvariablen ersetzt werden ( $\text{NH}_4$  und CSB-Frachten in das Gewässer).

Einige Zielvariablen (z.B. 1.2.7. Industriechemikalien, Medikamentenreste u.a.) wurden, auch wenn Ihre Werte im Rahmen des Projektes nicht ermittelt werden konnten, in den Katalog aufgenommen da sie prinzipiell wichtige Ziele repräsentieren, die bedacht werden sollten. Die in Tabelle 12 mit rotem **X** gekennzeichnete Zielvariable wurde für den Ist-Zustand und die nachstehenden Szenarien (Kap. 4.5) in den Modellen für die Panke berechnet.

Im Rahmen des Projektes war es nicht leistbar, alle denkbaren Szenarien zu bearbeiten (vgl. Kap. 4.5). Für den Vergleich der Szenarien wurden daher nur die Zielvariablen verwendet, auf die die betrachteten Szenarien auch einen Einfluss haben. So wurden beispielsweise keine strukturverbessernden Szenarien erstellt. Dementsprechend kam die Zielvariable Gewässerstrukturgüte nicht zur Anwendung. Strukturverbessernde Maßnahmen sind vor allem die Schaffung der Längsdurchgängigkeit für Wasserorganismen durch Rückbau von Wanderhindernissen und das Anlegen von Schutzstreifen mit standortgerechter Vegetation entlang des Gewässers. Die Längsdurchgängigkeit ist nicht zuletzt wesentliche Voraussetzung für eine Wiederbesiedlung heute stark geschädigter Bachabschnitte. Der Verbau der Gewässersohle und der Ufer sollte darüber hinaus auf ein Mindestmaß reduziert werden, um wichtige Siedlungsräume innerhalb des Gewässers wieder herzustellen und die Aufwanderung von Bachorganismen zu ermöglichen. Verrohrte Bachabschnitte sollten, so weit möglich, offen gelegt werden.

Um konkrete Aussagen für einzelne Abschnitte der Panke befriedigend zu erarbeiten, sind über das Forschungsvorhaben hinaus weitere konkrete Einzelprojekte erforderlich. Diese können wiederum als Baustein in das Gesamtkonzept zurückfließen.

## 4.4. Die Panke im Modell

Das Projekt „Verbesserte Ansätze..“ hat zum Ziel, die Stoffströme exakter zu verfolgen und durch Modellkombinationen Rückschlüsse auf Gesamtbelastungen für das Gewässer zu schließen. Das Einzugsgebiet des Fließgewässers Panke und der Kläranlage Schönerlinde stimmen nicht überein. Während das Regenwasser von versiegelten Flächen über das Trennsystem in die Panke abgeleitet wird, wird das Schmutz- und Mischwasser über Pumpwerke und Druckrohrleitungen zu den Berliner Klärwerken, überwiegend zur Kläranlage Schönerlinde gepumpt. Die Kläranlage Schönerlinde behandelt aber auch Abwasser von Pumpwerken, die nicht im Panke Einzugsgebiet liegen. Die Mischgebiete im Panke Einzugsgebiet erzeugen sowohl Mischwasserüberläufe in die Panke, als auch in die Spree und in den Berlin-Spandauer-Schiffahrtskanal. Wie die Problematik der unterschiedlichen Einzugsgebiete gelöst wurde ist in Kapitel 4.4.1.2 (Zusammenhang zwischen Panke Einzugsgebiet und dem Einzugsgebiet der Kläranlage) beschrieben.

Für die Fallstudie Panke sind NA-Modell (STORM), Abwasser Druckrohrleitungen (ADL, MATLAB Simulink, eigener Baustein) Kläranlagenmodell (SIMBA) und ATV Gütemodell getestet und miteinander kombiniert worden. Im N-A-Modell mit Bodenwasserhaushaltskomponenten ist ein Schmutzfrachtmodell integriert, das die wesentlichen siedlungswasserwirtschaftlichen Bauwerke und deren kanalisiertem Einzugsgebiete abbildet.

### 4.4.1. Niederschlag-Abfluss-Modell

#### 4.4.1.1 Regen- und Mischentwässerung

Für das Einzugsgebiet der Panke wurde mit dem Modell Storm ein Niederschlags- Abfluss Modell erstellt. Es beinhaltet 190 Teileinzugsgebiete, für welche sowohl die versiegelten als auch unversiegelten Flächenanteile berücksichtigt werden. Neben der Panke sind die Hauptnebengewässer und Gräben (soweit Informationen vorhanden) abgebildet. Informationen zu Retentionsflächen, Rückhaltebecken oder Teichen sind ebenfalls im Modell integriert. Für Bernau wurden Angaben zu Teileinzugsgebieten, Versiegelungsgraden, Retentionsflächen, sowie Engstellenproblemen aus dem Generalentwässerungsplan der Stadt Bernau entnommen.

Die Gemeinden Zepernick, Schönow und Schwanebeck in Brandenburg verfügten innerhalb des Untersuchungszeitraumes über keine Niederschlagsentwässerung. Modelltechnisch wurden die anfallenden Niederschlagswässer daher überwiegend den Abflusskomponenten Interflow und Basisabfluss zugeordnet (und gelangen damit zeitlich verzögert in die Panke). In Berlin sind die Bereiche in Trenn- und Mischkanalisation zu unterschieden (Abbildung 79). Anhand von Kanalisationsdaten (BWB) und Gewässerdaten (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung) wurden den Regenwassereinleitstellen Teilgebiete zugeordnet. Für diese wurden Versiegelungsgrade aus dem Umweltinformationssystem (UIS, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung) abgeleitet. Den Mischwasserteilgebieten (Berlin IV und X) sind die Versiegelungsgrade aus Plänen zur Kanalnetz- und Schmutzfrachtberechnung (bpi 1998 und 2002) entnommen worden. Zu den vorhandenen Regenüberläufen wurden Teilgebiete ermittelt und vorhandene Pumpwerke und Speicherbecken berücksichtigt.

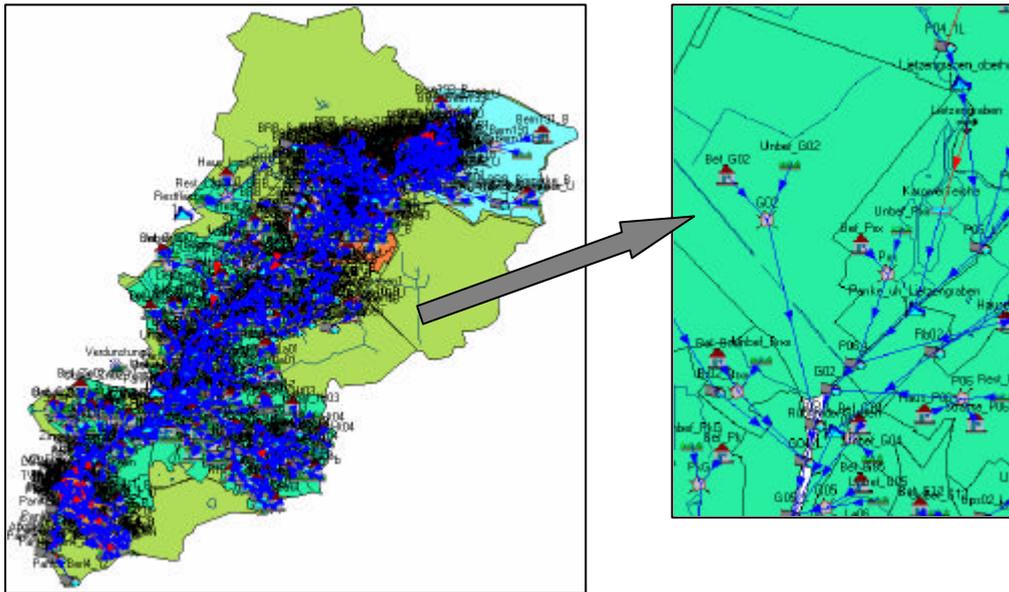


Abbildung 75: Die Panke im Modell STORM

Die Panke und das Einzugsgebiet wurden mit dem hydrologischen Niederschlags-Abfluss-Modell STORM abgebildet. Das Programm STORM eignet sich ebenfalls zur Schmutzfrachtberechnung. Die hohe Siedlungsdichte mit den vielen unterschiedlichen Entwässerungsverfahren erfordert ein möglichst genaues Abbild der Bauwerke. Für die Kalibrierung der Gewässerabflüsse wurden Pegeldata verwendet, die vom Landesumweltamt Brandenburg und der Senatsverwaltung in Berlin bereitgestellt wurden.



Abbildung 76: Pegelstellen entlang der Panke

Für die Modellkalibrierung wurden u. a. zwei Abflussereignisse der Jahre 1991-1993 ausgewählt. Zum einen das Ereignis vom 15.6.1991- 20.6.1991 und zum anderen das Ereignis vom 12.6.1993-16.6.1993. Die Kalibrierung erfolgte aufgrund der hoch aufgelösten Pegeldata an der Kühnemannstraße. An diesem Standort fließen ca. 75% des Abflusses aus dem Einzugsgebiet abzüglich des Nordgrabens ab. Weitere Pegel mit täglichen Abflussmessungen wurden als Orientierungswerte herangezogen.

Die Niederschlagsereignisse während des zur Verfügung stehenden Messzeitraumes zeigen keine besonders extremen Werte auf. Die maximalen Abflussereignisse weisen eine Jährlichkeit von 1 auf. Der Spitzenabfluss wird

stark durch die versiegelten Flächen geprägt. Der Standort Kühnemannstr. liegt bereits unterhalb des Verteilerbauwerkes, so dass ein Verlust aus dem Einzugsgebiet in den Nordgraben berücksichtigt

werden muss. Die Steuerung des Verteilerbauwerkes zum Zeitpunkt der Kalibrierung lag nicht vor. Die Ergebnisse der Kalibrierung sind insgesamt nur befriedigend.

Zur Ermittlung der stofflichen Belastung wurden versiegelte (aufgeteilt in Dach- und Straßenflächen) und natürliche Flächen sowie das Trockenwetter in vier Abflusstypen unterschieden:

Tabelle 13: Stoffliche Belastung in Abhängigkeit der Herkunft in mg/l

	TW	RW Strasse	RW Dach	nat. Flächen
CSB	500	150	100	15
AFS	292	150	50	50
NH <sub>4</sub> -N	30,4	20	15	5
BSB	250	10	10	5
N	100	20	10	20
P	15	1	2	1
ALK	2	3	3	3

Die stoffliche Kalibrierung des Modells erfolgte an 6 vorhandenen Messstationen. Dabei war die Länge der vorhandenen Messreihen für die einzelnen Stationen und Parameter sehr unterschiedlich. Zu berücksichtigen ist, dass in Storm für alle Jahre mit den gleichen Konzentrationswerten gearbeitet wird. Die Messwerte an den einzelnen Stationen zeigen in den Einzeljahren doch deutliche Unterschiede. Insbesondere an Werten der Jahre 1990 und 1992 wurden die Konzentrationswerte kalibriert.

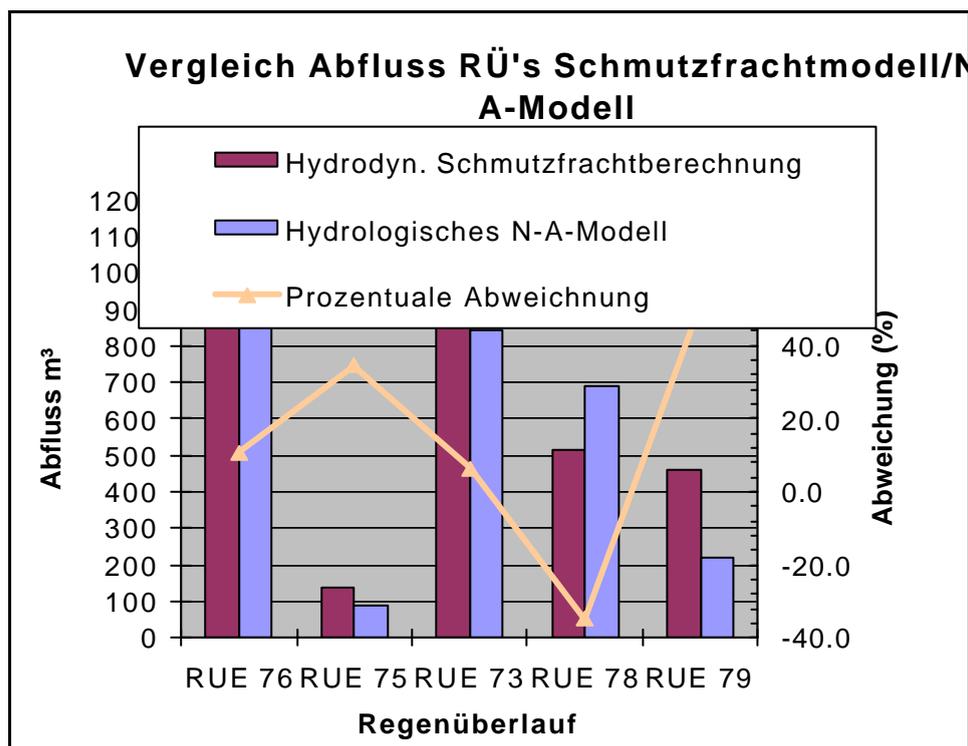


Abbildung 77: Ergebnisse der Kalibrierung für die Mischwasserteilgebiete (Entlastungsmengen MR60 n=1. Gesamtniederschlag 16,3 mm)

Die Kalibrierung für das Gebiet der Mischkanalisation erfolgte durch die Anpassung der Berechnungen von Regenüberlaufmengen von bpi (1998 und 2002) zum GEP für die Berliner Wasserbetriebe (BWB).

An der Gesamtbelastung CSB in die Panke spielen die Mischwasserüberläufe eine untergeordnete Rolle, weil nur ca. 10% des Panke Einzugsgebietes über ein Mischsystem entwässert wird. Abbildung 77 zeigt die Entlastungsmenge an einigen RÜBs an der Panke im Vergleich beider Modelle mit demselben Modellregen.

Die Langzeitsimulation des Ist-Zustandes offenbart die besonderen Eigenschaften der Panke. An verschiedenen Standorten der Panke und der wichtigsten Nebenflüsse wurde der Abfluss unterschiedlicher Jährlichkeiten simuliert. Abbildung 78 zeigt die Abflussstatistik für verschiedene Hochwasserereignisse und unterschiedliche Standorte für den Ist-Zustand an der Panke (Die Messpunkte in der Panke sind gemustert dargestellt, alle anderen sind Nebenflüsse). Wesentlich ist die Tatsache, dass die größten Abflüsse (beim HQ25) nicht an der Mündung der Panke zu erwarten sind (durch den Nordgraben wird ein Teil des Hochwasserabflusses abgeführt), sondern bereits nach der Hälfte der Strecke (Panke uh\_Lietzengraben). Die größte Zunahme an Abfluss mit steigender Jährlichkeit weist der Messpunkt Panke unterhalb des Lietzengrabens auf. Für Jährlichkeiten unter 25 Jahren zeigen sich am Standort Kühnemannstraße die höchsten Abflüsse (Einfluss der Versiegelung bereits deutlich). Die Abflüsse am Pegel Röntgental steigt mit höherer Jährlichkeit deutlich (mittlere und schlechte Bodendurchlässigkeiten lassen vermehrt Regenwasser von unbefestigten Flächen in die Panke gelangen).

Die vier Nebenflüsse Laake, Schmöckpfehlgraben, Fließgraben und Lietzengraben zeigen bei niedrigen Jährlichkeiten sehr unterschiedliche Abflussmaxima, mit Zunahme der Jährlichkeit (HQ10 und HQ25) vergleichmäßigen sich die Abflussmaxima (ca. 5 m<sup>3</sup>/s bei HQ25). Der Zingergraben weist die höchsten Abflüsse unter den Nebenflüssen auf. Dies liegt im hohen Versiegelungsgrad des Einzugsgebietes begründet.

Die Ableitung durch den Nordgraben macht sich erst ab einem HQ25 bemerkbar. Je nach Einstellung am Verteilerbauwerk fließt dem Nordgraben mehr oder weniger Wasser aus der Panke zu.

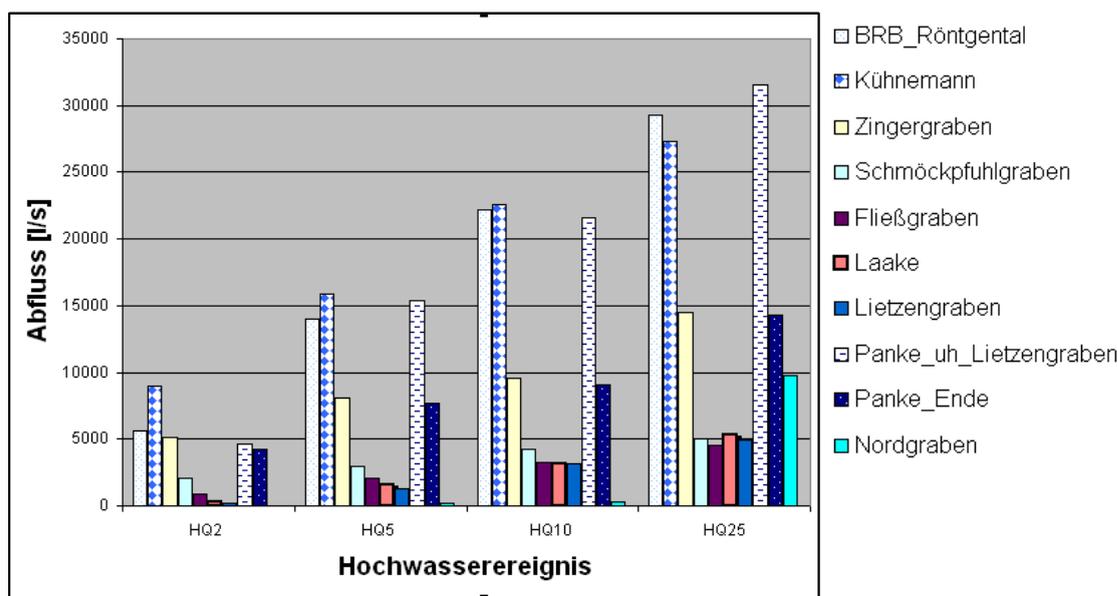


Abbildung 78: Hochwasserstatistik Ist-Zustand (31 Jahre RS Wedding)

Das „Franzosenbecken“ an der Panke kurz vor Beginn des Mischsystems staut e nur einmal in 31 Jahren (1964) über.

Im Rahmen der bisherigen Untersuchungen stand nur eine Regenreihe mit über 30 Jahren Aufzeichnungen zur Verfügung. Die Größe des Einzugsgebietes verlangt trotz der recht einheitlichen Topographie die Berücksichtigung verschiedener Regenstationen und dieses sollte bei zukünftigen Berechnungen erfolgen.

#### 4.4.1.2 Zusammenhang zwischen Panke Einzugsgebiet und dem Einzugsgebiet der Kläranlage

Abbildung 79 zeigt das Panke Einzugsgebiet (rot), das Druckrohrleitungsnetz zur Kläranlage Schönerlinde (schwarze Pfeile) und alle Pumpwerkseinzugsgebiete, die zur Kläranlage Schönerlinde fördern können (hellgrau umrandet). Viele der Pumpwerke fördern auch zu anderen Kläranlagen (Leitungen nicht dargestellt), sodass sie nur einen Anteil des Ihnen zufließenden Abwassers nach Schönerlinde pumpen. Die dunkelblauen Prozentangaben beziffern den Anteil des Abwassers der Pumpwerke, der in Jahren 2003 und 2004 nach Schönerlinde gefördert wurde.

Im Rahmen des Projektes war eine Anpassung des Systems nötig, da nicht alle Pumpwerke im Modell abgebildet werden konnten. Auf der anderen Seite sollte das Pumpwerk Berlin IV, dessen Einzugsgebiet in Teilen Mischwasserüberläufe in die Panke verursacht, aber im betrachteten Zeitraum nicht nach Schönerlinde fördert, (über eine real vorhandene Leitung) an die Kläranlage angeschlossen werden. Nur so ist es möglich, die Auswirkungen von Szenarien im Einzugsgebiet auf die Kläranlage zu berücksichtigen. In Abbildung 79 sind die abgebildeten Einzugsgebiete grün dargestellt.

Das Mischgebiet Berlin X schlägt durch Regenüberläufe Mischwasser in die Panke (60% des Einzugsgebietes) und in die Spree ab. Zudem liegen die Regenüberläufe in die Panke im unteren Teil des Einzugsgebietes und sind somit vom oberen Teil des Einzugsgebietes, der Überläufe in die Spree verursacht, beeinflusst. Daher wird Berlin X komplett im Modell abgebildet.

Im Mischgebiet Berlin IV wird Mischwasser in die Panke (15% des Einzugsgebietes), die Spree und den Berlin-Spandauer-Schiffahrtskanal abgeschlagen. Die Regenüberläufe in die Panke liegen im oberen Teil des Einzugsgebietes, sodass sie vom Rest des Einzugsgebietes unbeeinflusst sind. Daher wird nur der Teil des Einzugsgebietes abgebildet, der Mischwasserüberläufe in die Panke verursacht.

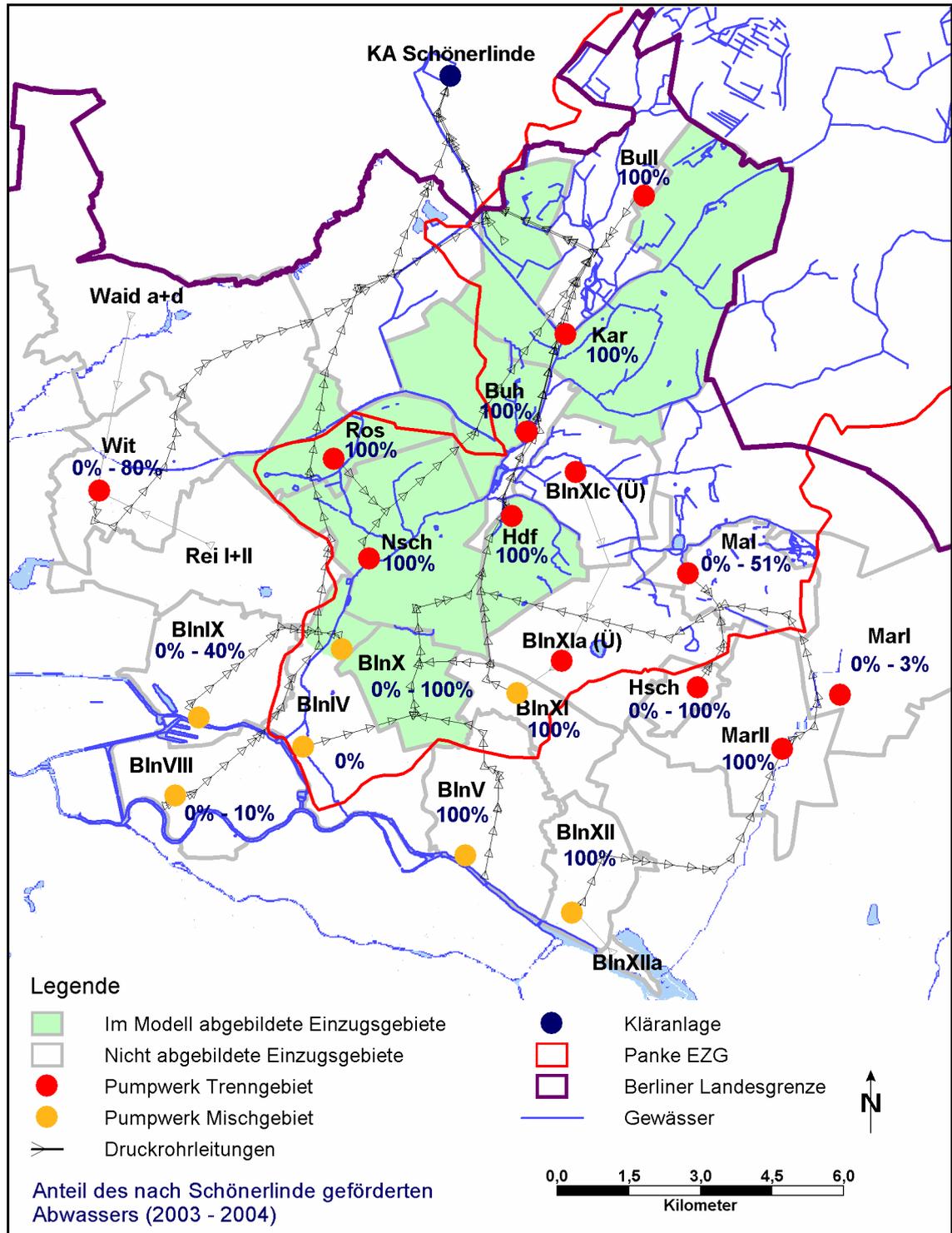


Abbildung 79: Einzugsgebiete der KA Schönerlinde

Da nur ein Teil des Einzugsgebietes der Kläranlage Schönerlinde im Modell abgebildet ist, wird der Zufluss zur Kläranlage mit dem Faktor  $1/37,4\% = 2,67$  hochskaliert (der Ablauf dementsprechend herunterskaliert). Der Faktor 37,4% resultiert aus einem Vergleich der gemessenen und modellierten Zuflüsse der Kläranlage.

#### 4.4.1.3 Schmutzwasserkanal der Trenngebiete

Wie bereits im Kapitel „4.2 Defizite der Panke“ dargestellt, gibt es Zuflüsse von Regenwasser in die Schmutzwasserkanäle (S-Kanäle) der Trenngebiete. In Abbildung 80 wird allgemein eine schematische Aufteilung des Abwasserteilstroms in folgende Komponenten vorgenommen (nach Peters und König 2001):

##### 1. Schmutzwasser

##### 2. Direktes Fremdwasser

Ursachen: Zufluss von Niederschlagswasser über Fehlschlüsse von Dächern, versiegelten Flächen und Drainagen sowie über Schachtabdeckungen.

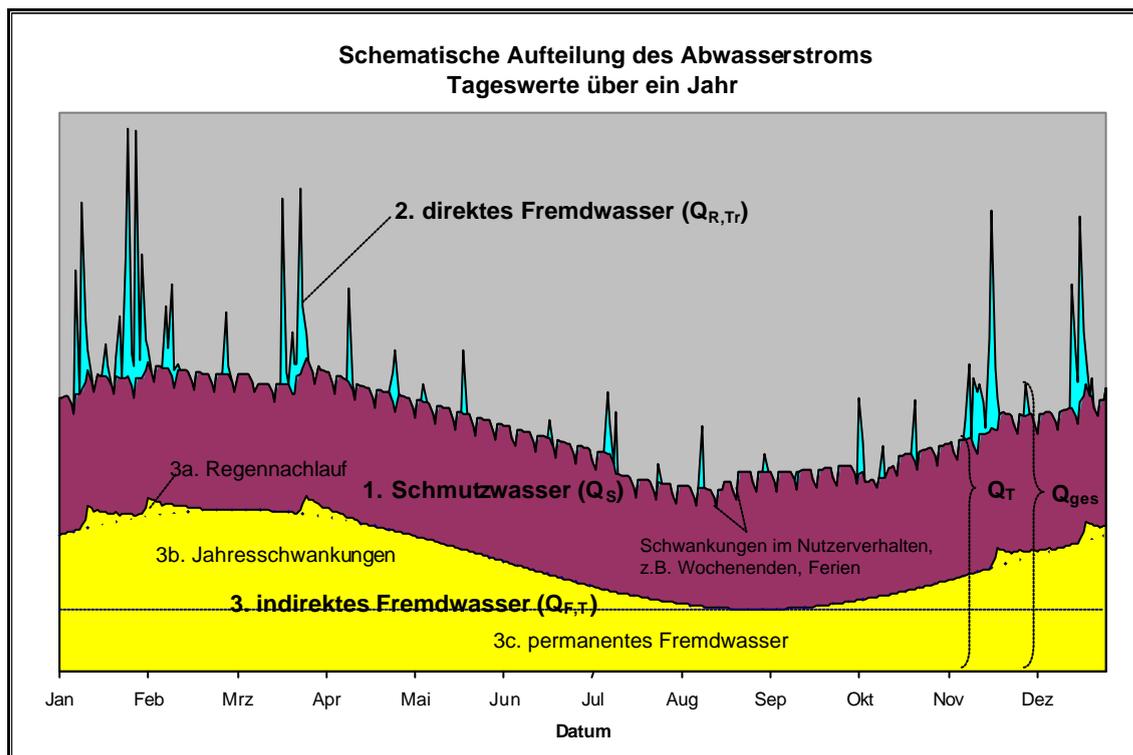
##### 3. Indirektes Fremdwasser

##### 3a. Regennachlauf

Ursachen: Nach dem Regen kurzzeitig erhöhtes Grundwasserniveau oder Schichtenwasser, wodurch es zu erhöhter Infiltration über Undichtigkeiten in den Leitungen bzw. erhöhtem Anfall von Dränagewasser kommt.

##### 3b. Jahreszeitliche Schwankungen

Ursachen: Jahreszeitlich veränderliches Grundwasserniveau.



Quelle: Peters und König 2001, 17, ergänzt

Abbildung 80: Schematische Aufteilung des Abwasserstroms

Das direkte Fremdwasser ( $Q_{R,Tr}$ , Abbildung 80, Komponente 2) wird im Modell abgebildet, indem ein gewisser Prozentsatz (3,5% bis 6%, aus Kalibrierung, s.u.) der versiegelten Flächen an den S-Kanal angeschlossen wird.

Das indirekte Fremdwasser ( $Q_{F,T}$ , Abbildung 80, Komponente 3) wird vereinfacht über einen dreiecksförmigem Jahresgang abgebildet. Der Regennachlauf (Komponente 3a) wird nicht explizit modelliert. Das Schmutzwasser wird durch einen konstanten Jahresgang abgebildet. Daraus ergibt sich ein dreiecksförmiger Trockenwetterjahresgang.

Die Bestimmung des Anteils der versiegelten Fläche, von dem der Regenabfluss in den S-Kanal gelangt ( $A_U$ ) und der Parameter des Trockenwetterjahresganges ( $Q_{T,d,min,Modell}$  und  $Q_{T,d,max,Modell}$ ) erfolgt durch Kalibrierung an den gemessenen Fördermengen, die als Tagessummen ( $Q_{ges,d,Messwert}$ ) für die Jahre 1998 bis 2002 vorlagen.

Die Aufteilung des Trockenwetterabflusses in Schmutzwasser und Fremdwasser spielt nur eine geringe Rolle. Für die Modellierung wurde der tägliche Schmutzwasseranfall dem Minimum des Trockenwetterjahresganges gleichgesetzt.

Aus der Kalibrierung ergibt sich für die einzelnen Pumpwerke ein Schmutzwasseranfall zwischen 90 und 125 l/(Ed). Für das Fremdwasser bei Trockenwetter ergeben sich bezogen auf die befestigte Fläche Werte zwischen 0,02 l/(s•ha  $A_{E,b}$ ) und 0,05 l/(s•ha  $A_{E,b}$ ).

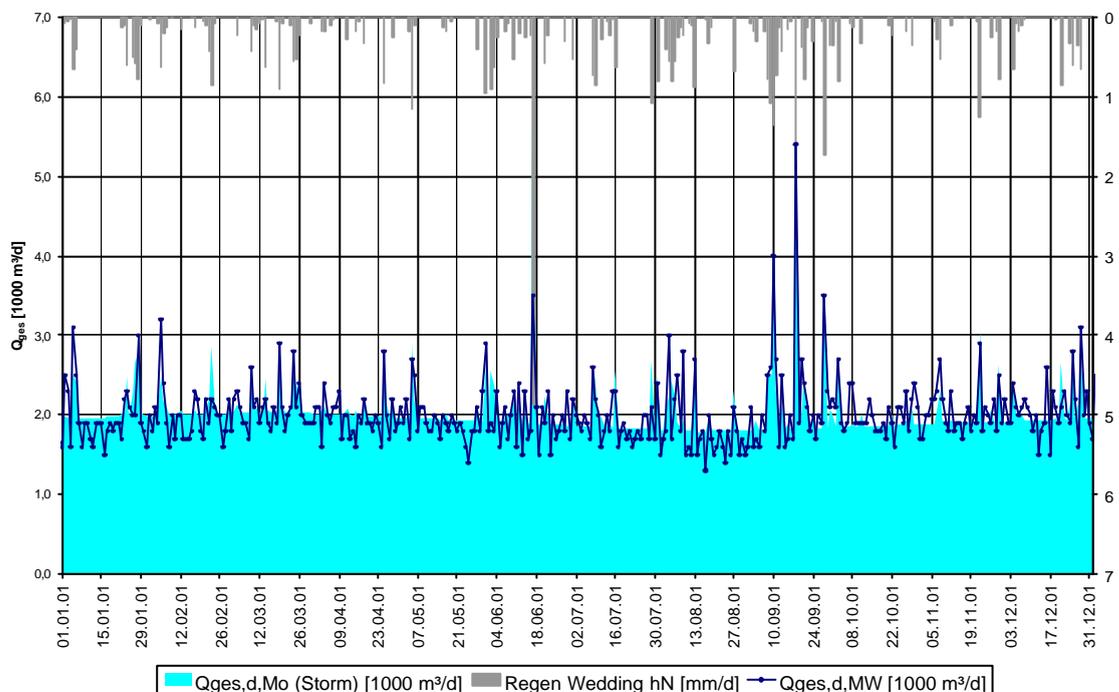


Abbildung 81: Vergleich der Pumpwerksfördermengen mit den Ergebnissen der Kalibrierung des STORM Modells (exemplarisch für das Pumpwerk Rosenthal und das Jahr 2001)

In Abbildung 81 sind die gemessenen Fördermengen und die Ergebnisse der Kalibrierung exemplarisch für das Pumpwerk Karow und das Jahr 2001 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Fördermengen der Pumpwerke an regenfreien Tagen Schwankungen unterliegen, die vom Modell prinzipiell nicht abgebildet werden. Der Jahresgang des Trockenwetterabflusses wird im Modell gut nachgebildet. Der Regenwetterabfluss wird an vielen Tagen ebenfalls gut abgebildet, an einigen Tagen (z.B. 02.06.2001 17.06.2001) gibt es jedoch deutliche Abweichungen. Die angenommene Ursache ist die räumliche Varianz des Regens, d.h., im Einzugsgebiet des Pumpwerkes unterscheidet sich die

Niederschlagsmenge an diesen Tagen wesentlich von der Niederschlagsmenge am Standort des Regenschreibers. Zusammenfassend ist eine gute Übereinstimmung der Modellergebnisse mit den Messwerten in den Tagessummen zu erkennen. Zeitlich hoch aufgelöste Messwerte der Fördermengen standen leider nicht zur Verfügung.

Für die Modellierung des Trockenwetterabflusses wurden die in Tabelle 14 dargestellten Schmutzfrachten angenommen. Konzentrationsmesswerte lagen nur im Zulauf zur Kläranlage vor. Diese Messwerte bestätigen die Annahmen (siehe Kap 4.4.2 Druckrohrleitungsnetz und Pumpwerke).

Tabelle 14: Einwohnerspezifische Schmutzfrachten und Stoffkonzentrationen

Parameter	Schmutzwasser		Fremdwasser
	[g/(E*d)] <sup>1)</sup>	bez. 115 l/(E*d) [mg/l]	[mg/l]
BSB <sub>5</sub>	60	522	0
CSB	120	1043	0
AFS	70	609	0
NH <sub>4</sub> -N	7,3	63	0
P <sub>ges</sub>	1,8	16	0

1) ATV-A 131 (2000): Einwohnerspezifische Frachten, die an 85% der Tage unterschritten werden. Der Wert für NH<sub>4</sub>-N ergibt sich unter Annahme einer Verteilung der N-Fractionen analog zu ATV A -131 zu 2/3 \* TKN

#### 4.4.2. Druckrohrleitungsnetz und Pumpwerke

Da in den vorhandenen Modellen zur Kanalnetzsimulation kein Baustein zur Verfügung stand, mit dem Druckrohre simuliert werden konnten, wurde für diese Aufgabe vom FG Wasserreinhaltung ein eigener Baustein entwickelt. Der Baustein läuft wie die Kläranlagensimulation SIMBA in der Simulationsumgebung MATLAB Simulink. Die Funktionsweise des Bausteins wird in Abbildung 82 verdeutlicht. In der ersten Zeile ist der Durchfluss Q dargestellt, der im Zulauf und im Ablauf identisch ist, da es sich um vollständig mit Wasser gefülltes Druckrohr handelt. In der zweiten Zeile sind beispielhaft drei verschiedene Zulaufkonzentrationen dargestellt. Der Baustein bildet eine reine Pfropfenströmung ab. Daher sind die in der dritten Zeile dargestellten Ablaufkonzentrationen gegenüber den Zulaufkonzentrationen um die hydraulische Aufenthaltszeit im Druckrohr verschoben. Da die hydraulische Aufenthaltszeit nicht konstant ist, sondern von dem variablen Zufluss abhängt, ergibt sich eine Verformung der Kurven. Das Funktionsprinzip des Bausteins beruht darauf, dass das Druckrohr in eine Anzahl von Segmenten unterteilt wird, die im Modell durch das Rohr geschoben werden. Für die Rohrgeometrie ist ausschließlich das Volumen des Rohres entscheidend.

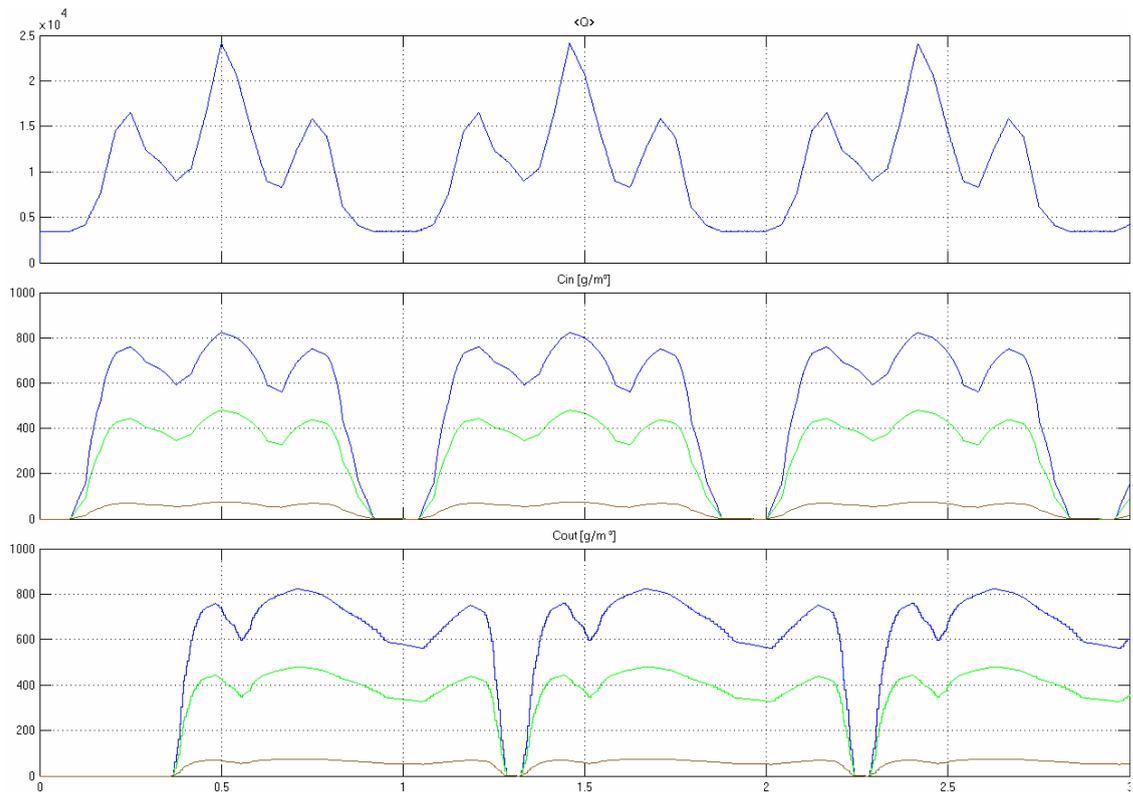


Abbildung 82: Zu- und Ablauf des Druckrohrleitungsbausteins (Beispiel)

Die Pumpwerke werden im Modell als Regenüberlaufbecken dargestellt, die bis zu einer vorgegebenen Regelfördermenge das anfallende Abwasser direkt weiterleiten. Fließt einem Pumpwerk mehr Wasser zu, als es fördern kann, erfolgt ein Einstau und schließlich ein Überlauf. Bei allen Pumpwerken steht durch Rückstau ein gewisses Speichervolumen im Kanalnetz zur Verfügung, dass genutzt wird, bevor es zum Überlauf kommt. Da Rückstauereignisse in hydrologischen Modellen prinzipiell nicht abgebildet werden können, wurde den Pumpwerken im Modell das nutzbare Volumen des realen Pumpwerkes zuzüglich dem nutzbaren Volumen des Kanalnetzes zugewiesen. Da das Einzugsgebiet des Pumpwerkes Berlin IV nur zu 15% abgebildet ist, wurden die Speichervolumina und Fördermengen dieses Pumpwerkes mit diesem Faktor reduziert. Abbildung 83 zeigt das Druckrohrleitungsnetz zur Kläranlage Schönerrinde, wie es in Simulink umgesetzt wurde.

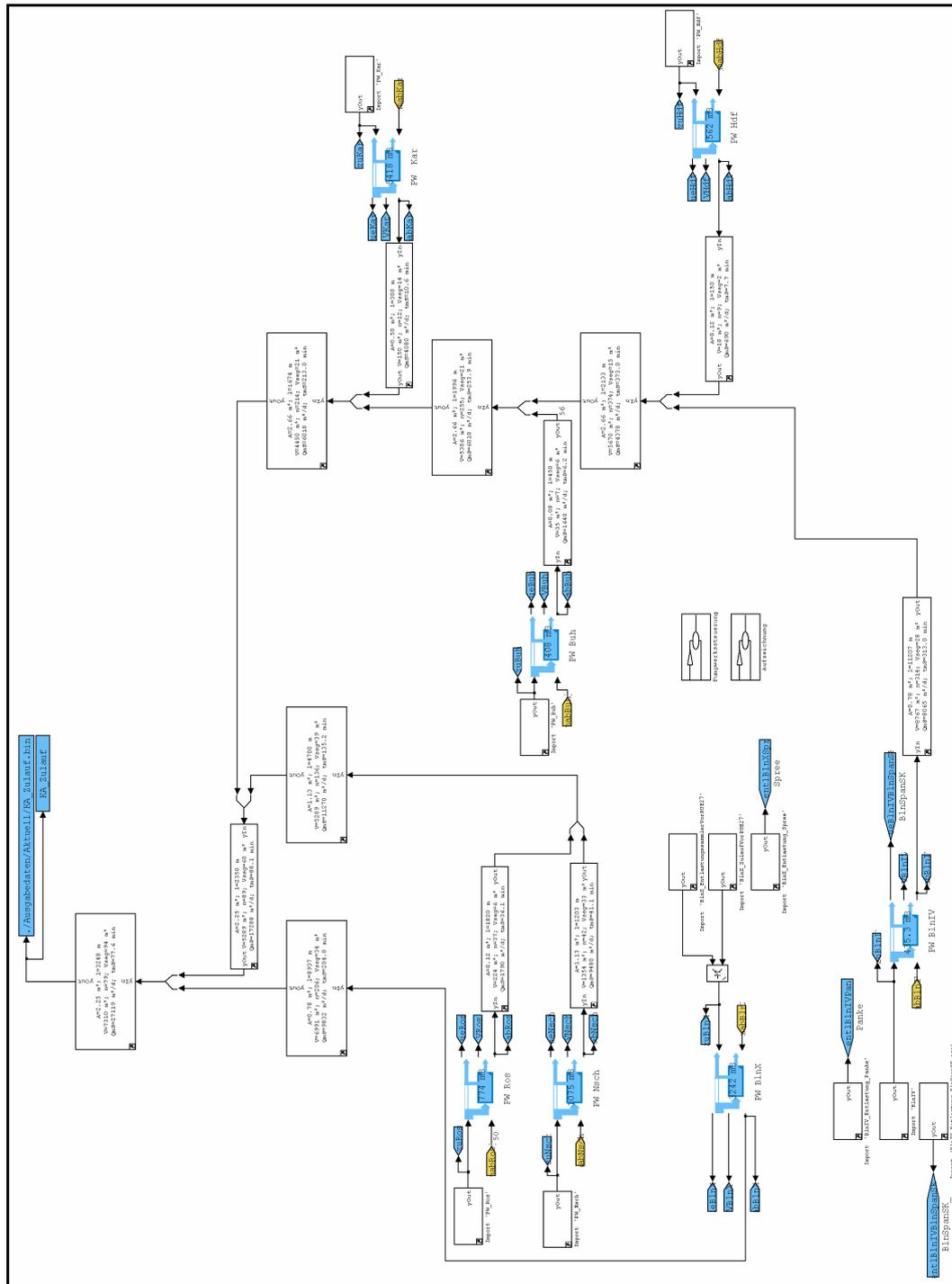


Abbildung 83: Druckrohrleitungsnetz im Modell

In Abbildung 84 werden die Modellergebnisse des Abwasser-Druckrohrleitungsnetzes (ADL-Netzes) mit Messwerten im Zulauf zur Kläranlage verglichen. Die Messwerte des Zulaufs wurden mit einem Faktor von 0,374 multipliziert, der dadurch begründet ist, dass nur ein Teil des realen Einzugsgebietes der Kläranlage im Modell abgebildet wird. Dennoch stimmt der Verlauf des Zuflusses im betrachteten Zeitraum sehr gut mit den Messwerten überein.

Da die Messwerte im Zulauf zur Kläranlage bereits eine Rückbelastung durch Zentrat und Brüdenkondensat aus der Schlammbehandlung enthalten, ist zu erwarten, dass das Druckrohrleitungsnetz Konzentrationen errechnet, die unter den Messwerten liegen. Daher wurden die Messwerte in Abbildung 84 bereits mit Skalierungsfaktoren multipliziert, die dem mittleren Verhältnis Modellwert / Messwert entsprechen. Die Skalierungsfaktoren der Konzentrationen entsprechen üblichen Werten für eine Rückbelastung durch Schlammwasser. Da die Konzentrationsmessungen nur alle drei Tage als 24h-Mischproben vorlagen, kann aus Abbildung 84 keine Aussage über die Richtigkeit des zeitlichen Verlaufes gewonnen werden. Es ist jedoch erkennbar, dass die Konzentrationen erst zeitlich versetzt nach der hydraulischen Spitze abnehmen.

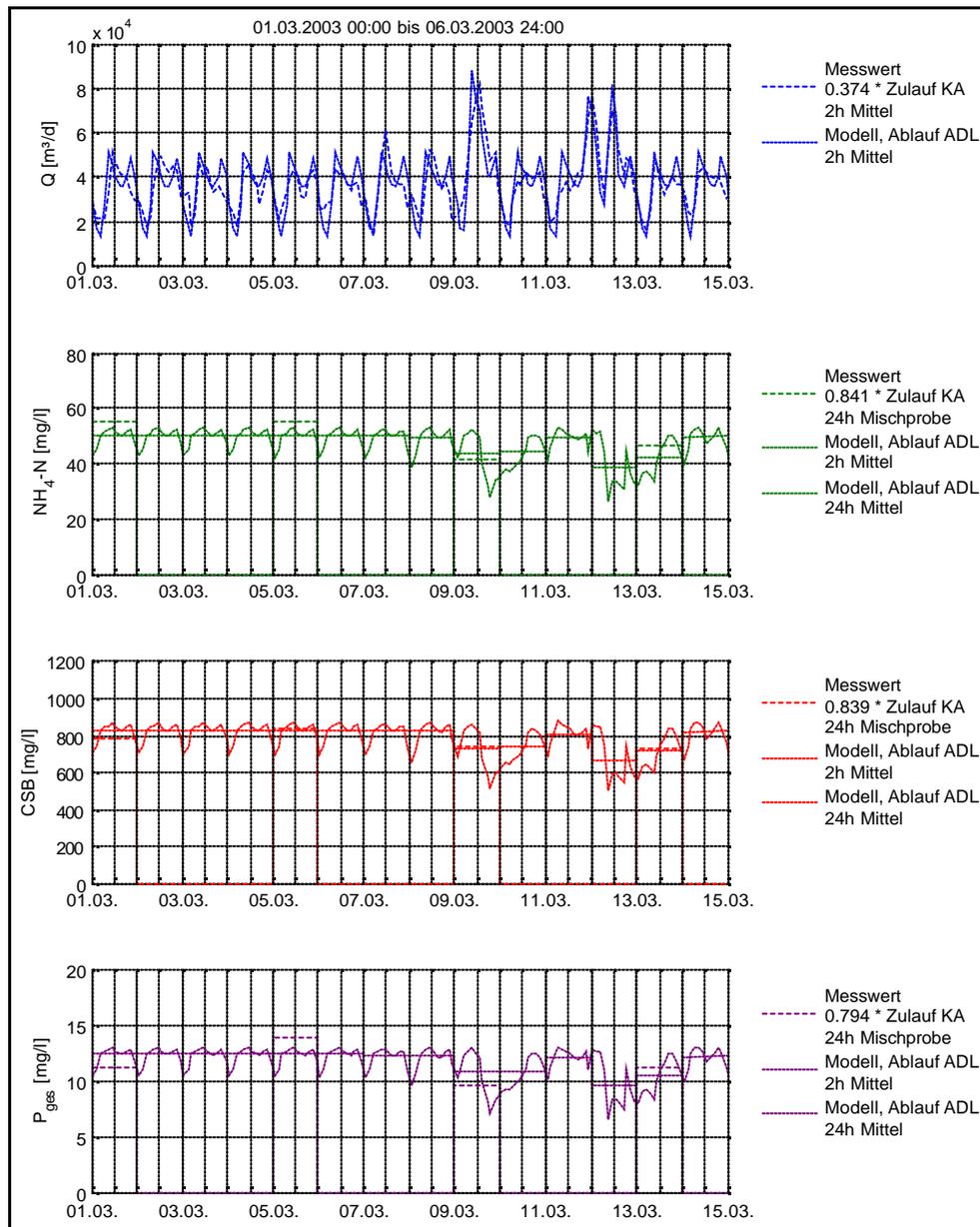


Abbildung 84: Vergleich des Ablaufs des ADL-Modells mit Zulaufsmesswerten der Kläranlage vom 01.03.2003 bis 30.06.2003

In Abbildung 85 werden Modellergebnisse mit Zulaufmesswerten eines Regenereignisses verglichen. Es ist erkennbar, dass die Konzentrationen erst deutlich (10h) nach der hydraulischen Spitze abnehmen. Insbesondere beim CSB und P ist zunächst eine sprunghafte Erhöhung der Konzentrationen zu erkennen, die durch die Remobilisierung von Ablagerungen hervorgerufen wird. Dieses Phänomen ist beim TKN, der überwiegend in gelöster Form als Ammonium vorliegt, in abgeschwächter Form zu beobachten. Im Modell werden diese Remobilisierungen prinzipiell nicht abgebildet. Da es sich um partikuläre Stoffe handelt, wird ein großer Teil von Ihnen am Rechen, im Sandfang und in der Vorklärung der Kläranlage abgeschieden.

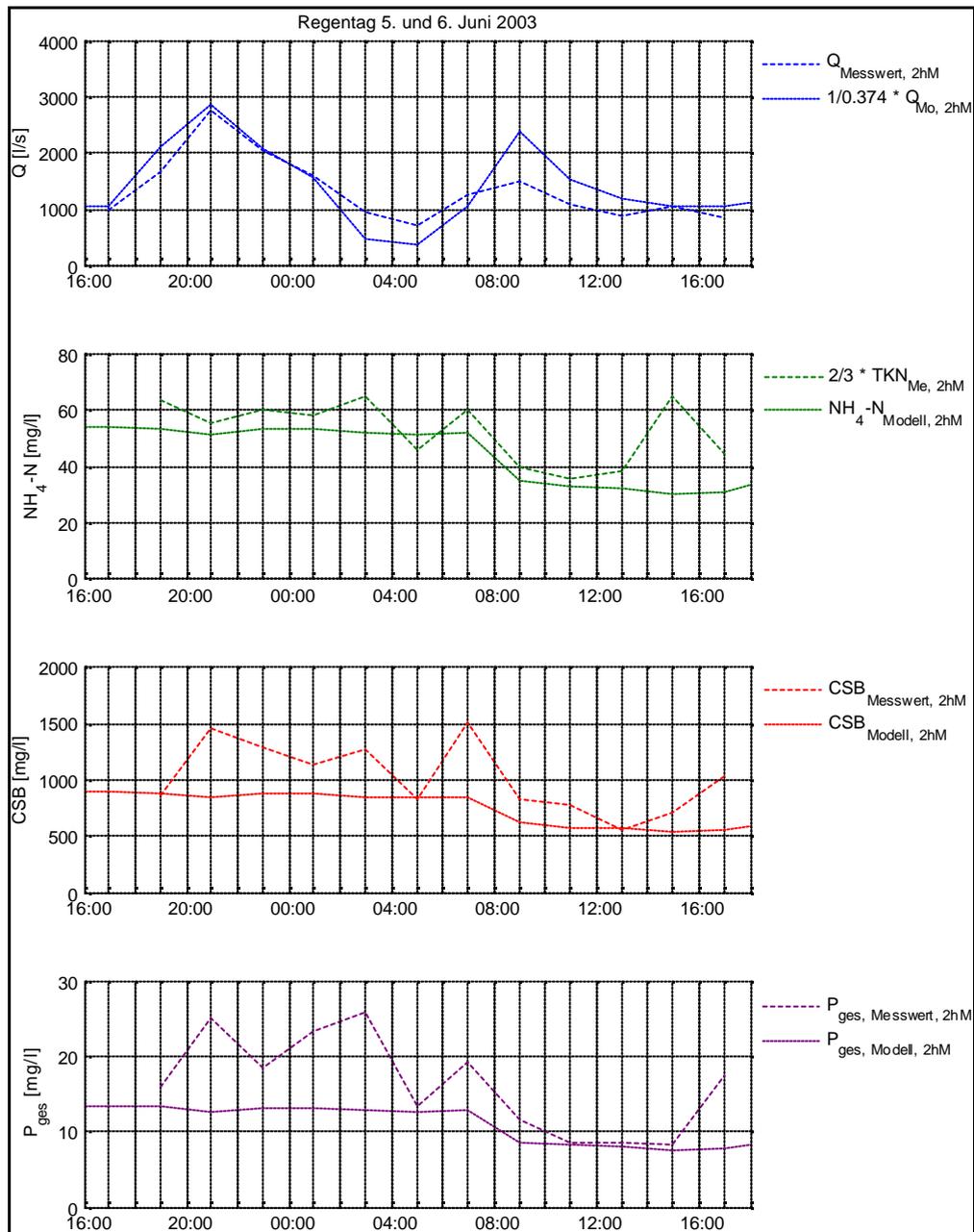


Abbildung 85: Vergleich des Ablaufs des ADL-Modells mit Zulaufsmesswerten der Kläranlage 2h-Mittelwerte 05. und 06.06.2003

Für die nachfolgende Modellierung der KA sind die Erhöhungen des CSB und P eher unkritisch zu bewerten. Bezüglich des TKN könnten sie im Modell zu einer geringen Unterschätzung der Ammonium-Ablaufwerte führen. Während der Zeitpunkt des Absinkens der Ammonium-Zulaufkonzentrationen am 5./6. Juni durch das Modell gut getroffen wird, tritt er am 29./30. August (Abbildung 86) im Modell deutlich früher auf, was zu einer deutlichen Unterschätzung des Frachtstoßes führt. Der Zufluss aus dem modellierten Anteil des Einzugsgebiets der Kläranlage stimmt also je nach Ereignis unterschiedlich gut mit dem Zufluss des realen Einzugsgebietes überein.

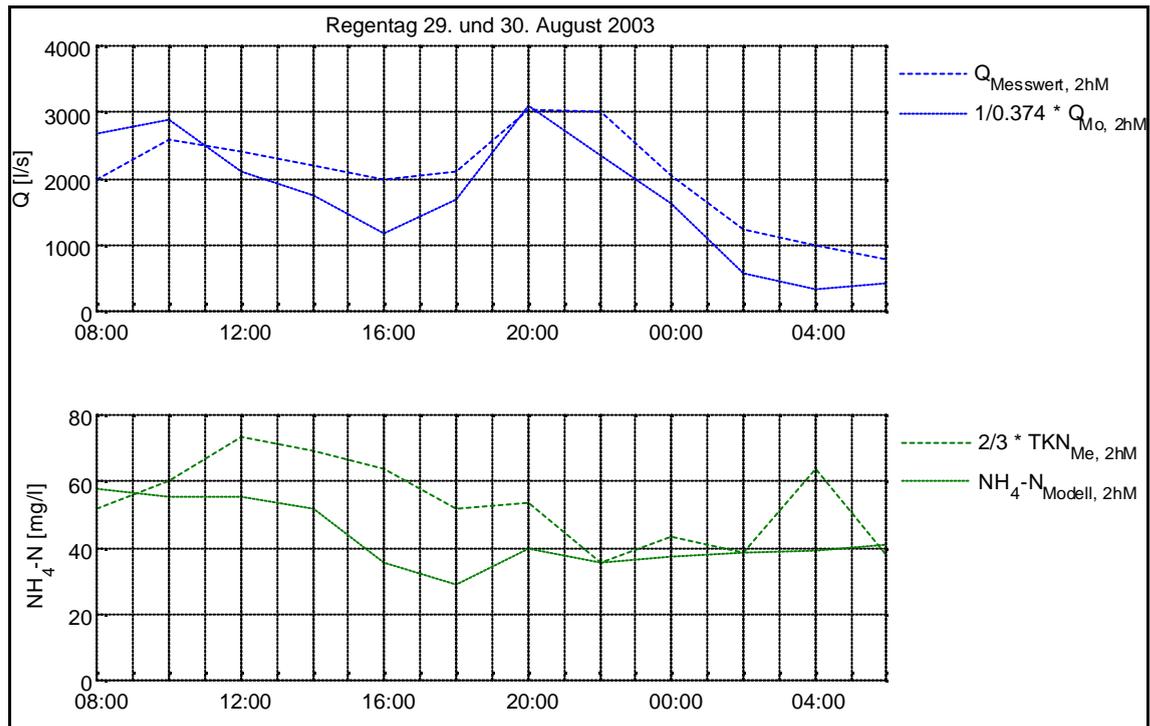


Abbildung 86: Vergleich des Ablaufs des ADL-Modells mit Zulaufsmesswerten der Kläranlage 2h-Mittelwerte 29. und 30.08.2003

### 4.4.3. Kläranlagenmodell

Die Kläranlage Schönerlinde wird auf dem Stand März 2003 abgebildet. Zu diesem Zeitpunkt besteht die Anlage aus sechs Linien, die nach einer Modernisierung seit Januar 2003 in der Verfahrenskombination Nitrifikation, vorgeschaltete Denitrifikation, biologische Phosphatentfernung mit ergänzender Simultanfällung betrieben werden. Im Dezember 2005 wurde am Standort eine zusätzliche Linie in Betrieb genommen, die für die Modellierung nicht mehr berücksichtigt werden konnte. Eine detaillierte Simulation der sechs einzelnen Linien erwies sich aus folgenden Gründen als nicht zielführend:

- Die vorhandene Datengrundlage stellte sich als nicht ausreichend heraus.
- Die Rechenzeit einer Langzeitsimulation würde sich extrem verlängern.

Daher wird im Modell nur eine Linie abgebildet, die mit 1/6 des gesamten Zuflusses beschickt wird.

Abbildung 87 zeigt die Kläranlage, wie sie im Modell implementiert wurde.

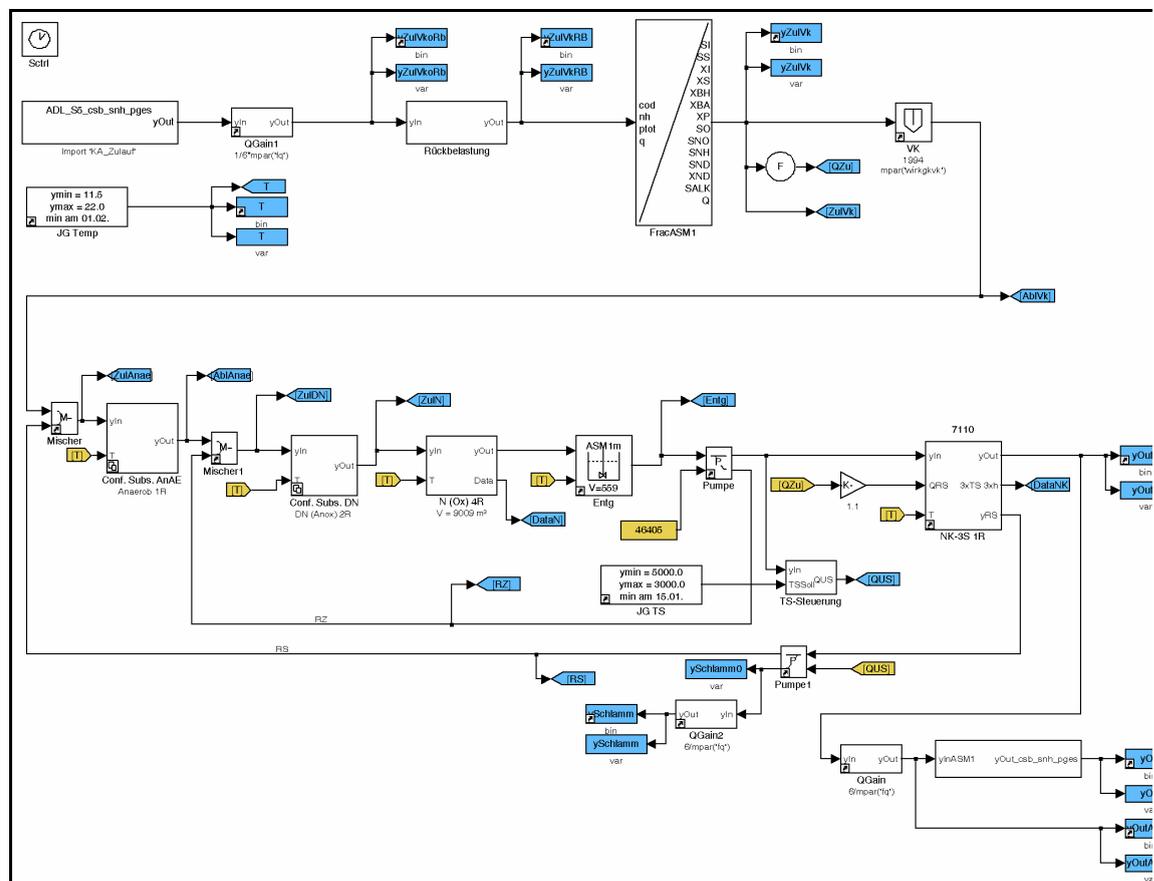


Abbildung 87: Kläranlage im Modell

Das Modell beinhaltet folgende Komponenten:

- Rückbelastung: Proportional zu den Zulauffrachten (vgl. Kap. 4.4.2 Druckrohrleitungsnetz und Pumpwerke). Grundlage ist das gleitende Mittel der der letzten 25 d.
- Zulauffraktionierung: Faktoren nach Bornemann, Londong et al. (1998), geringfügig modifiziert

- Vorklärung :Modell nach Otterpohl, Raak et al. (1994)
- Belebung: Biochemisches Modell ASM1 (Activated Sludge Model No 1, IWA Task Group ... 2000; ifak system 2001), biologische Parameter nach Bornemann, Londong et al. (1998). Abbildung des Anaerobbeckens mit einem, der Denitrifikation mit zwei und der Nitrifikation mit vier in Serie geschalteten, voll durchmischten Reaktoren.
- Nachklärung: 3-Schichten Modell mit variabler Schichthöhe (SIMBA NK3S, ifak system 2001)
- P-Modellierung: Phosphor wird im ASM 1 nicht abgebildet. Es wurde jedoch davon abgesehen ein umfangreicheres Modell der ASM-Familie (ASM2d oder ASM3 + BioP Modul der EAWAG) zu verwenden, da eine Kalibrierung aufgrund der geringen Datenbasis nicht sinnvoll möglich gewesen wäre. Daher wird eine vereinfachte Modellvorstellung verwendet. Es wird davon ausgegangen, dass bezüglich des gelösten Phosphors durch die chemische Fällung eine gleich bleibende Ablaufqualität eingehalten werden kann. Ferner wird davon ausgegangen, dass der TS im Ablauf einen konstanten P-Gehalt aufweist. Damit berechnet sich der P-Ablaufwert zu:  $P_{ges} = 0,196 \text{ mg/l} + 0,040 * \text{TS}$ .

Für die Kalibrierung wurden von den Berliner Wasserbetrieben die routinemäßig erhobenen Onlinemesswerte im Zeitraum vom 01.03.2003 bis zum 15.03.2003 als 2h-Mittelwerte und ergänzend etwa jeden zweiten Tag 24h Mischproben des Ablaufs zur Verfügung gestellt. Im Zulauf lagen nur 24h-Mischproben alle drei Tage vor. Die Kalibrierung erfolgte anhand der Massenbilanzen und der Ablaufganglinien. Aufgrund der geringen Datengrundlage wurden die biologischen Parameter nicht verändert. Kalibriergrößen waren: Zulauffraktionierung ( $S_1 \leftrightarrow X_1$ ), Wirkungsgradkorrektur der Vorklärung, Beckenunterteilung und Belüftungssteuerung, Rezirkulationsvolumenstrom ( $Q_{RZ}$ ) und der Mischvolumenstrom zwischen den Schichten des Nachklärbeckensmodells. Während der Kalibrierung anhand der Messdaten wurden für die Temperatur (T),  $Q_{RZ}$  und den TS-Gehalt der Belebung ( $TS_{BB}$ ) die Messwerte nachgefahren. Für die Langzeitsimulation mit modellierten Zuläufen wurden für  $Q_{RZ}$  ein konstanter Wert und für T und  $TS_{BB}$  Jahresgänge angenommen.

Es wurde versucht, die Zulauftemperatur zur Kläranlage im Schmutzfrachtmodell über eine Mischrechnung aus angenommener Regenwassertemperatur und Abwassertemperatur zu berechnen. Dieses Vorgehen führte jedoch zu einem viel zu starken Temperaturabfall bei Mischwasserzufluss, der nicht mit den Messwerten übereinstimmte. Der gewählte Temperaturjahresgang liegt dichter an den Messwerten.

In Abbildung 88 ist das Ergebnis der Kalibrierung für Ammonium dargestellt. Die oberen zwei Zeilen zeigen den Zulauf, die dritte Onlinemesswerte des Ablaufs und die vierte 24h-Mischproben des Ablaufs. Die Messwerte sind immer gepunktet und dick dargestellt. Bei den Modellergebnissen wird unterschieden zwischen dem Modell, das für die Kalibrierung verwendet wurde und mit den Zulaufmesswerten rechnet (durchgezogen, dünn) und dem Langzeitmodell, das mit den modellierten Zulaufwerten rechnet (durchgezogen, dick).

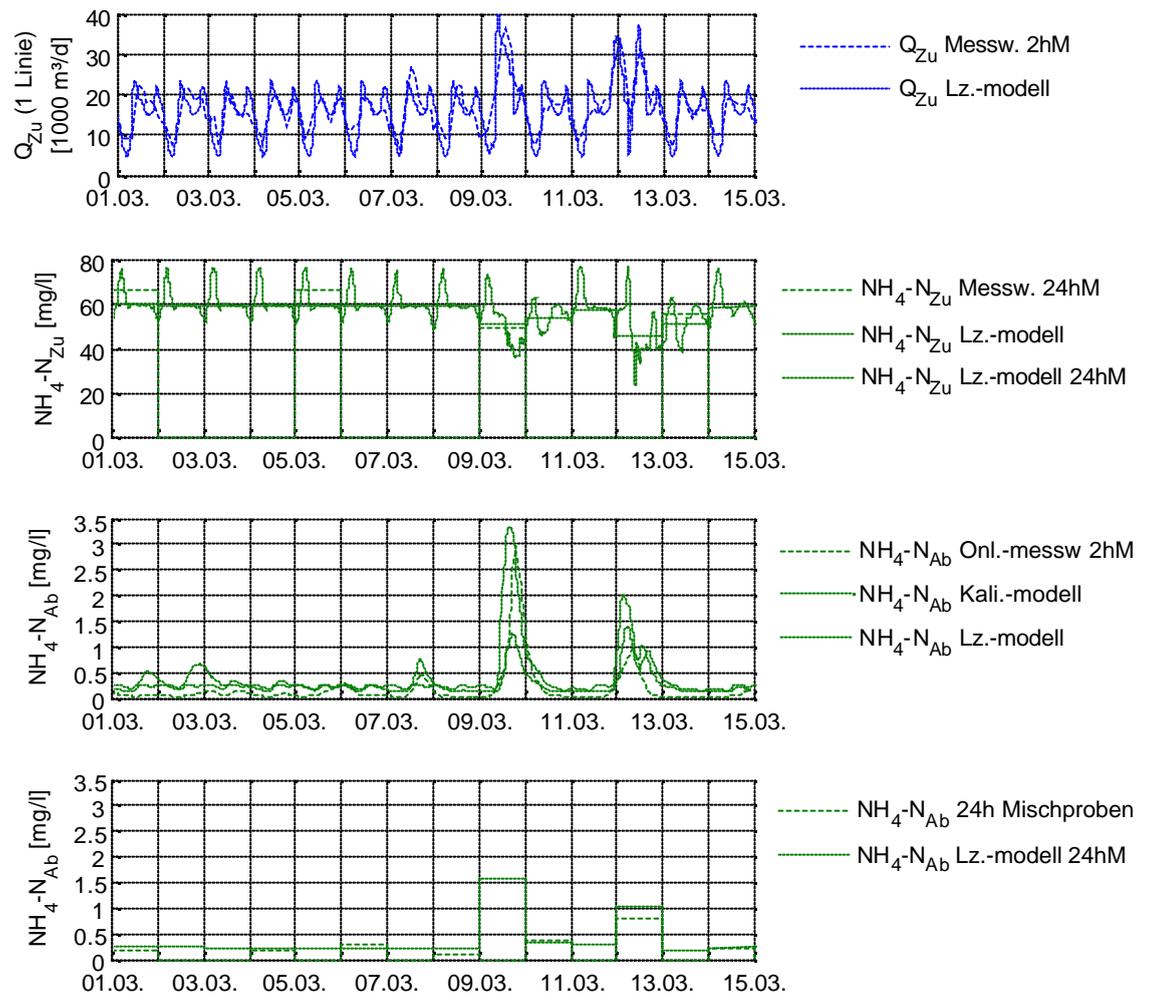


Abbildung 88: Ergebnis der Kalibrierung der Kläranlage für Ammonium

Mit den Zulaufmesswerten kann die Ammonium-Spitze am 9.3. nicht nachvollzogen werden, da durch die 24h-Mittelung der Frachtstoß verwischt. Mit den modellierten Zuflüssen ergibt sich eine gute Übereinstimmung. Bei Trockenwetter liegen die modellierten Ablaufwerte geringfügig über den Onlinemesswerten, mit den 24h-Mischproben stimmen sie recht genau überein.

In der Realität werden bei Mischwasserzufluss Ammonium-Ablaufwerte bis zu 10 mg/l erreicht. In der 30 Jahre Langzeitsimulation werden im Winter (Sommer) Ablaufwerte von 7,5 (5,5) mg/l nicht überschritten. Obwohl es im Kalibrierungszeitraum eine gute Übereinstimmung der Ablaufspitzen gibt, werden also zu anderen Zeiten die Ablaufspitzen vom Modell unterschätzt. Mögliche Ursachen sind:

- Die Kalibrierung der Kläranlage könnte aufgrund der geringen Datenbasis nicht gut genug sein.
- Die Frachtstöße, die durch das Druckrohrleitungsnetz erzeugt werden, könnten in der Realität extremer ausfallen als im Modell da
  - das vereinfachte System nicht mit dem realen übereinstimmt.
  - die Mobilisierung von Ablagerungen im Modell nicht erfasst wird.

- Die Absenkung der Temperatur bei Mischwasserzufluss wird im Modell nicht abgebildet.

Welcher der genannten Punkte maßgeblich ist, konnte im Rahmen des Projektes nicht ermittelt werden.

Die Unterschätzung der Abflussspitzen führt ebenfalls zu einer Unterschätzung der mittleren jährlichen Ammonium-Ablaufkonzentrationen (vgl. Tabelle 15). Bezüglich aller anderen Stoffe ist eine gute Übereinstimmung zu erkennen.

Tabelle 15: Vergleich der Ablaufmesswerte mit Modellergebnissen (Jahresmittel)

[mg/l]	Ablaufmesswerte *)			Modellergebnis
	2002	2003	2004	2003
AFS	2,6	<b>4,9</b>	8,8	<b>7,6</b>
CSB	36,8	<b>40,9</b>	47,4	<b>44,4</b>
P <sub>ges</sub> -P	0,2	<b>0,5</b>	0,5	<b>0,50</b>
NH <sub>4</sub> -N	0,6	<b>0,6</b>	0,4	<b>0,27</b>
N <sub>anorg</sub>	8,8	<b>9,9</b>	10,9	<b>10,0</b>
N <sub>ges</sub>	10,6	<b>11,7</b>	13,3	<b>11,7</b>

\*) Quelle: <http://www.bwb.de/deutsch/unternehmen/>

#### 4.4.4. ATV Gewässergütemodell

Im Rahmen der Fallstudie wurde das ATV-Gütemodell für die Panke aufgestellt. Dazu wurden vorhandene Gewässerprofile der Panke digitalisiert und in das Modell eingegeben. Grundsätzlich zeigt das Modell bei der Berechnung der Hydraulik Probleme. Es sind nur Einzelereignisse mit dem Modell zu rechnen. Langzeitsimulationen können nicht durchgeführt werden. Die Gütebausteine lassen sich nur sehr schwer kalibrieren, da nur Monatswerte zu einzelnen Parametern vorliegen.

Das Modell bildet das Fließgewässer in seiner Gesamtheit und Komplexität ab. In der Regel stehen die nötigen Daten nicht zur Verfügung und es müssen sinnvolle Annahmen für nicht gemessene Daten getroffen werden. Insbesondere zeitlich variable Messdaten stellen hier eine Beschränkung dar. Nach der Bewertung von Messergebnissen des Landesumweltamtes Brandenburg am Pegel Röntgentaler Straße lässt sich für die Panke in Brandenburg feststellen, dass Belastungen durch Nährstoffe nur gering bis mäßig vorhanden sind. Besonders für den Parameter Orthophosphat ist eine rückläufige Tendenz seit Inkrafttreten des Waschmittelgesetzes abzulesen.

Ein Lösungsansatz für nicht vorhandene Daten ist der Ersatz durch Normkurven. Insgesamt 28 davon stehen dem Anwender zur Verfügung, die dahingehend angepasst werden können, dass Mittelwert und Amplitude, aufgliedert nach Wochentagen, angegeben werden können.

Die Ergebnisse des ATV Gütemodells lassen es nicht zu, Aussagen zu den immissionsorientierten Werten verlässlich wiederzugeben. Es musste deshalb auf die weitere Modellanwendung verzichtet werden. Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen und eine Beurteilung des Modells sind in [Lingke 2002] zusammengefasst.

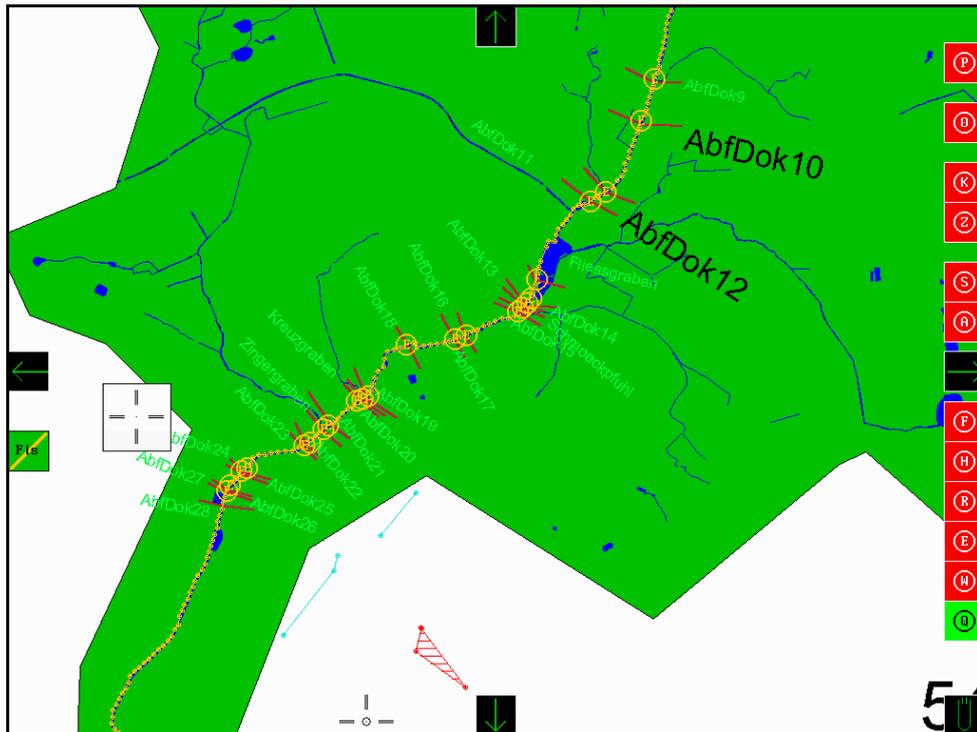


Abbildung 89: Eingebaute Querprofile im ATV-Gütemodell für den Berliner Teil des Panke Einzugsgebietes

Um die Modellierung mit dem ATV-Gütemodell zu umgehen, wurde das Modell STORM inzwischen erweitert, konnte aber für die Panke nicht mehr angewendet werden.

Mit dem Modul „M3“ steht ein Werkzeug für den detaillierten Nachweis der Wirkungen im Gewässer zur Verfügung. Die Abflüsse im Gewässer (modelliert von STORM oder alternativ aus anderen Niederschlags-Abfluss-/Wasserhaushaltsmodellen wie z.B. NASIM oder WASIM importiert) werden mit Stoffkonzentrationen (NH<sub>4</sub>-N, AFS, BSB) und anderen physikalischen Größen (pH-Wert, Temperatur) belegt – entweder konstant oder als Ganglinie. Per Langzeitsimulation erfolgt dann eine Berechnung der Zielgrößen (HQ<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>-N, AFS) im Gewässer basierend auf den Gleichungen des BWK-M3. Damit ermöglicht STORM-M3 eine Langzeit-Gütesimulation! Die Auswertung erfolgt über die 9er Matrix. Anders als im vereinfachten Verfahren kommen keine starren, sondern variable Grenzwerte in Abhängigkeit von Auftretswahrscheinlichkeit und Wirkungsdauer zur Anwendung.

## 4.5. Szenarien

### 4.5.1. Szenarienauswahl

Zusammen mit der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und den Berliner Wasserbetrieben (BWB) wurden unter Berücksichtigung der genannten Defizite der Panke Szenarien erarbeitet, welche für die Panke und das Einzugsgebiet von besonderer Wichtigkeit sind. Nachfolgende Tabelle zeigt die geplanten Szenarien auf:

Tabelle 16: Szenarien für die Panke

<b>Legende:</b>		<b>X</b>	Positive Wirkung		-- / -	stark negative Wirkung / negative Wirkung				
			Misch	Trenn	KA	Entw	Vern	Stru	NW	MOWA
<b>Szenarienbausteine</b>										
<b>Entwässerungssystem</b>										
Speicherbecken und Stauraumkanäle in den Einzugsgebieten der Pumpwerke Berlin IV und Berlin X (Planungen der BWB)			X							
Optimierung der Auslastung der vorhandenen Beckenvolumina			X							
Verstärkte Förderung von Mischwasser zur Kläranlage Schönerlinde			X		--					
Zentrales Speicherbecken vor der KA-Schönerlinde					X					
Ausbau der KA-Schönerlinde (7. + 8. Linie)					X					
Regenwassermanagement an den maßgebenden Einleitstellen										
Rückhaltebecken			X	X						
Bodenfilterbecken			X	X						
Regenklärbecken				X						
Abkopplungsszenarien - dezentrale Regenwasserbewirtschaftung, z.B. Versickerung durch Mulden, Mulden-Rigolen oder Mulden-Rigolen Systeme. Letztere erlauben gleichzeitig eine Bewirtschaftung des Grundwasserstandes.			X	X	X	X	X		X	
Barnim: Nutzung des Schmutzwasserkanals zur Regenentwässerung (Status quo, Kapazitäten begrenzt)					--	(X)	(X)			
Barnim: Aufbau eines Trennsystems				-	X	X	X			
<b>Gewässer</b>										
Renaturierungsszenario								X		
<b>Abflussmengensteuerung</b>										

Status quo am Verteilerbauwerk Blankenburg (Hauptanteil zur OWA-Tegel)									X
Vergleichmäßigung des Pankeabflusses (NW) und Ausgleich des Fehlbetrages an der OWA durch Steigerung des über die Seeleitung gepumpten Anteils.								X	-
Null-Variante, als gäbe es den Nordgraben nicht, um ein Bild von der Hochwasserbelastung der Panke ohne die Entlastung durch den Nordgraben zu bekommen.									-
Überleitung von KA-Ablauf in Bucher Forst, Lietzengraben und Karower Teiche (Status Quo) ist mit ca. 50 l/s gering und wird daher bei der Szenarientwicklung nicht berücksichtigt.									
Langzeitszenario OWA Tegel – Noch abzuspochen									X

Die aufgestellten Szenarien lassen sich im Rahmen des Forschungsprojektes nicht alle modelltechnisch umsetzen. Es sind deshalb beispielhaft zwei Szenarien gerechnet worden, die die Notwendigkeit der Flussgebietsmodellierung deutlich machen. Die Modelle können und sollen nach Projektabschluss weiter zur Verfügung stehen und ergänzt werden. Weiterhin wurde als Szenario der potenziell natürliche Zustand gerechnet, der z.B. im BWK M3 Nachweis zur Umsetzung der EG-WRRL gefordert ist.

#### Ist-Zustand

Alle Daten zum Einzugsgebiet (Kanalnetz, Bauwerke, Versiegelungsgrad, andere Modelle) werden genutzt, um die aktuelle Situation des Panke Einzugsgebietes im Modell abzubilden. Anhand des Ist-Zustandes wurden die Modelle kalibriert.

#### Potenziell natürlicher Zustand

Die Beurteilung des Gewässerzustandes wird für den IST- und den Prognosezustand wird an den Abweichungen zum potenziell natürlichen Zustand festgemacht. Im potenziell natürlichen Zustand gibt es keine versiegelten Flächen. Das Gewässer wird allerdings nicht dem Ursprungszustand (Gefälleverhältnisse und Mäandrierung) angepasst. Allerdings sollte das Gewässer entsprechend dem Leitbild nach EU-WRRL abgebildet sein.

#### Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung

Das Abkopplungsszenario beruht auf einem für das Panke-Einzugsgebiet ermittelten Abkopplungsgrad, welches im Rahmen einer Untersuchung 1999 für den Stadtentwicklungsplan erstellt wurde. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden anhand von GIS Daten und stichprobenartigen Kartierungen Abkopplungsgrade (wie viel Regenwasser kann von den versiegelten Flächen vom Kanalnetz abgekoppelt und dezentral bewirtschaftet werden) Durchschnittswerte für verschiedene Baustrukturtypen ermittelt. Für das Szenario wurde das maximal umsetzbare Abkopplungspotenzial betrachtet, das voraussetzt, dass an allen Standorten eine Regenwasserbewirtschaftung möglich ist. Das durchschnittliche Abkopplungspotenzial im Einzugsgebiet beträgt 23% und variiert je nach örtlichen

Voraussetzungen (Versiegelungsgrad, naturräumliche Bedingungen). Es wurden nur Dach- und Hofflächen dezentral betrachtet, Straßenflächen blieben außen vor. Dies ist aufgrund von unterschiedlicher stofflicher Belastung für die versiegelten Flächen (Straßen-, Dach- und natürliche Flächen) von Bedeutung.

#### **Anschlüsse BRB**

In diesem Szenario wird angenommen, dass in Brandenburg eine deutliche Zunahme an Siedlungsfläche erfolgt, die über konventionelles Trennsystem angeschlossen an die Panke und ihre Seitenzuflüsse angeschlossen wird. Dieses Szenario wurde gewählt, weil der Zuzug in die Randgebiete Berlins nach wie vor groß ist.

#### **Pumpwerkssteuerung**

Ziel ist die optimale Nutzung vorhandener Speichervolumina. Dieses Szenario wird im Rahmen einer Promotion an der TU Berlin noch untersucht.

#### **Alternative Sanitärkonzepte**

Dieses Szenario wird im Rahmen einer Promotion an der TU Berlin noch untersucht.

### **4.5.2. Standortwahl für Szenarienvergleich**

Der Nachweis von Zielvariablen für die Panke kann für einen 27 km langen Fluss nicht nur an einem Punkt ermittelt werden. Die Panke wurde deshalb in drei Abschnitte unterteilt, in denen deutliche Änderungen im Abflussregime vorkommen. Als vierter Punkt kommt die Kläranlage hinzu. Die Entscheidungsmatrix für die Berechnungsergebnisse der Zielvariablen wurde an folgenden Punkten aufgestellt (siehe Abbildung 76).

- **Röntgental:** Der Standort liegt am Übergang der Panke von Brandenburg nach Berlin. Das Einzugsgebiet ist im Vergleich zum flussabwärts gelegenen Einzugsgebiet noch natürlich geprägt, der Einfluss versiegelter Fläche recht gering.
- **Kühnemannstraße:** Die wesentlichen Nebenflüsse und die wichtigsten Einleitungen durch das Trennsystem der BWB liegen oberhalb des Standortes. Die Panke ist noch frei von Einleitungen durch das Mischsystem. Der Nordgraben führt oberhalb der Kühnemannstraße bereits Wasser von der Panke ab.
- **Mündung der Panke:** Das gesamte Einzugsgebiet der Panke. Der Abzweig Südpanke erhält im Vergleich der Szenarien noch keine Berücksichtigung.
- **Kläranlage**

### **4.5.3. Ergebnisse Szenarien**

#### **Röntgental (Grenze Berlin/Brandenburg)**

Für den Standort Röntgental zeigen sich bezüglich der Abkopplung keine Auswirkungen, weil die Umsetzung dezentraler Maßnahmen nur für Berlin untersucht wurde. Änderungen im Abflussverhalten ergeben sich im Szenario Anschluss versiegelter Flächen nach konventioneller Methode. Hier nimmt die Abflussmenge bei niedrigen Jährlichkeiten deutlich zu, bei höheren Jährlichkeiten ab. Als Begründung für dieses Abflussverhalten kann gelten, dass bei niedrigen Jährlichkeiten durch den Abfluss versiegelter Flächen erhöhter Oberflächenabfluss auftritt, der die Erhöhung des HQ1 erklärt. Bei hohen Jährlichkeiten

fließt ein Großteil des Oberflächenabflusses von natürlichen Flächen ab. Der jetzt versiegelte Anteil ist aber bereits durch den Kanalanschluss der Hauptabflusswelle vorausgeeilt.

Tabelle 17: Ergebnis betrachteter Szenarien für den Standort Röntgental

Zielvariablen/ Szenarien	Einheit	Istzustand	Abkopplung	Abkopplung %	Anschluss BRB	Anschluss BRB %	PotNat	PotNat%
HQ1	[m³/s]	5,1	5,1	100,0	6,7	131,2		
HQ10	[m³/s]	19,1	19,1	100,0	19,8	103,9		
HQ25	[m³/s]	32,9	32,9	100,0	31,0	94,3		
HQ50	[m³/s]	49,7	49,7	100,0	43,5	87,6		
CSB	[kg/a]	212170,8	212170,8	100,0	224938,0	106,0	3176,1	1,5
BSB	[kg/a]	21901,3	21901,3	100,0	26023,3	118,8	635,2	2,9
NH4	[kg/a]	33101,6	33101,6	100,0	37254,3	112,5	635,2	1,9
	[mg/l]							
AFS	[kg/a]	184539,3	184539,3	100,0	225664,8	122,3	12704,3	6,9
N	[kg/a]	41077,8	41077,8	100,0	57438,3	139,8	1270,4	3,1
P	[kg/a]	3863,4	3863,4	100,0	4686,4	121,3	63,5	1,6

### Kühnemannstraße

An der Kühnemannstraße wirken sich die Abkopplungsmaßnahmen deutlich aus. Mit höherer Jährlichkeit nimmt der Einfluss der Regenwasserbewirtschaftung ab, liegt aber beim HQ 50 noch bei ca. 18% Abflussreduzierung. Die Reduzierung der Stofffrachten vermindert sich um den Anteil der Abkopplung. Die Verringerung spiegelt in etwa den Anteil der Abkopplung wieder, wobei die P-Fracht einen besonders hohen Rückgang aufweist (27%), AFS einen geringeren (15%).

Tabelle 18: Ergebnisse der Modellierung für den Standort Kühnemannstraße

Zielvariablen/ Szenarien	Einheit	Ist-zustand	Abkopplung	Abkopplung %	PotNat	PotNat%	Anschluss BRB	Anschluss BRB %
HQ1	[m³/s]	8,9	6,1	68,12			9,094	102,16
HQ10	[m³/s]	19,9	15,2	76,13			20,32	102,11
HQ25	[m³/s]	27,8	22,2	79,73			28,37	102,12
HQ50	[m³/s]	35,8	29,5	82,56			36,52	102,10
CSB	[kg/a]	437408,0	341215,8	78,01	2257,08	0,52	531830,27	121,59
BSB	[kg/a]	40030,6	30529,5	76,27	451,42	1,13	49615,61	123,94
NH4	[kg/a]	64274,8	49905,1	77,64	451,42	0,70	78826,47	122,64
	[mg/l]							
AFS	[kg/a]	323632,6	273769,9	84,59	9028,32	2,79	398812,11	123,23
N	[kg/a]	58862,1	49126,4	83,46	902,83	1,53	75134,5	127,64
P	[kg/a]	6901,0	5024,4	72,81	45,14	0,65	8624,69	124,98

### Pankemündung

An der Pankemündung werden auch die Mischwasserentlastungen berücksichtigt. Vom Abflussverhalten im Vergleich der Szenarien Ist-Zustand und Abkopplung ähneln sich die Ergebnisse von Kühnemannstraße und Pankemündung. Die Reduzierung des Abflusses durch die Abkopplung wird zur Mündung hin etwas weniger deutlich. Bezüglich der Mischwasserentlastungen fällt auf, dass die Anzahl der Entlastungen deutlich abnimmt (910 auf 562), der Stoffrückhalt jedoch zwischen 12% (N) und 25% (P) schwankt. Der im Verhältnis geringe Rückgang der AFS und von Stickstoff resultiert aus der Tatsache, dass beim Abkopplungsszenario die wenig mit AFS und Stickstoff belasteten Dachflächen vom Mischwassernetz getrennt werden. Beim Phosphor verhält es sich umgekehrt (höhere Werte für Regenwasser auf den Dachflächen).

Tabelle 19: Ergebnistabelle Szenarien Pankemündung

Zielvariablen/ Szenarien	Einheit	Ist- zustand	Abkopp- lung	Abkoppl- ung %	PotNat	PotNat%	Anschlüsse in BRB	Anschluss BRB %
HQ1	[m³/s]	4,9	3,7	<b>76,08</b>			5,2	<b>105,92</b>
HQ10	[m³/s]	10,2	8,3	<b>81,80</b>			10,8	<b>106,08</b>
HQ25	[m³/s]	13,8	11,6	<b>84,23</b>			14,7	<b>106,15</b>
HQ50	[m³/s]	17,4	15,0	<b>86,15</b>			18,5	<b>106,21</b>
CSB	[kg/a]	455459	352605	<b>77,42</b>	2549,38	<b>0,56</b>	547959	<b>120,31</b>
BSB	[kg/a]	43544	32610	<b>74,89</b>	509,88	<b>1,17</b>	52945	<b>121,59</b>
NH4	[kg/a]	66417	51239	<b>77,15</b>	509,88	<b>0,77</b>	80680	<b>121,48</b>
	[mg/l]							
AFS	[kg/a]	334985	281150	<b>83,93</b>	10197,5	<b>3,04</b>	408673	<b>122,00</b>
N	[kg/a]	61022	50383	<b>82,57</b>	1019,75	<b>1,67</b>	77000	<b>126,18</b>
P	[kg/a]	7229	5211	<b>72,09</b>	50,99	<b>0,71</b>	8921	<b>123,40</b>
RÜ ges. Q	[m³/a]	248111	204953	<b>82,61</b>				
RÜ ges. Enlastung	[Anzahl/a]	473	302	<b>63,74</b>				
RÜ ges. CSB	[kg/a]	33651	27782	<b>82,56</b>				<b>7,39%</b>
RÜ ges. BSB	[kg/a]	5872	4818	<b>82,06</b>				<b>13,48%</b>
RÜ ges. NH4	[kg/a]	4251	3496	<b>82,24</b>				<b>6,40%</b>
RÜ ges. AFS	[kg/a]	22754	20208	<b>88,81</b>				<b>6,79%</b>
RÜ ges.N	[kg/a]	4485	3936	<b>87,74</b>				<b>7,35%</b>
RÜ ges.P	[kg/a]	608	480	<b>78,98</b>				<b>8,41%</b>

## Kläranlage

Tabelle 20: Ergebnistabelle Szenarien Kläranlage

Zielvariable/ Szenarien	Einheit	Ist- Zustand	Abkopplung	Abkopplung %	Anschluss BRB	Anschluss BRB %
CSB	kg/a	568046	565989	100%	Kein Einfluss auf die Kläranlage	
NH4	kg/a	4730	4568	97%		
AFS	kg/a	102890	101116	98%		
N	kg/a	150681	150023	100%		
P	kg/a	6668	6576	99%		

Das Szenario Anschluss BRB hat keinen Einfluss auf die Kläranlage, da das Szenario bezüglich des Schmutz- und Mischwassers keine Veränderungen bringt.

Der Einfluss des Abkopplungsszenarios auf die Kläranlage ist aus folgendem Grund sehr gering: Der maximale Mischwasserzufluss zur Kläranlage ist vorgeben und ändert sich nicht. Der durch die

Abkopplung verminderte Anfall von Mischwasser resultiert also nur bei sehr kleinen Regenereignissen, bei denen keine Mischwasserüberläufe auftreten, direkt in einem verminderten Kläranlagenzulauf. Bei größeren Regenereignissen werden die Überlaufmengen verringert, die Zulaufmengen zur Kläranlage jedoch fast nicht: Der vorgegebene maximale Kläranlagenzulauf setzt beim Abkopplungsszenario geringfügig später ein und hört geringfügig früher auf. Andererseits sind die Zulaufkonzentrationen aufgrund der geringeren Verdünnung mit Regenwasser etwas höher. Dadurch können sich die Ammonium-Spitzen im Ablauf bei einigen Ereignissen geringfügig (um weniger als 0,5 mg/l) erhöhen. Insgesamt ist bezüglich aller Stoffe eine geringfügige Abnahme der mittleren jährlichen Frachten zu beobachten.

### **Fazit**

Als Fazit der Szenarienberechnung kann festgehalten werden, dass in Abhängigkeit des betrachteten Standortes die gewählten Szenarien sehr unterschiedliche Bedeutung haben. Stofflich betrachtet weichen die IST- und Planungsszenarien sehr deutlich vom potenziell natürlichen Zustand ab. Dies ist aufgrund der stark urban geprägten Charaktereigenschaften des Einzugsgebietes auch nicht anders zu erwarten. Das Abkopplungsszenario verringert Menge und Stofffrachten in die Panke. Die Auswirkungen auf die Kläranlage sind eher gering. Der Vergleich zu Auswirkungen zentraler Lösungen steht noch aus. Die größten Abflüsse (beim HQ25) sind nicht an der Mündung der Panke zu erwarten (durch den Nordgraben wird ein Teil des Hochwasserabflusses abgeführt), sondern bereits nach der Hälfte der Strecke (Panke unterhalb des Lietzengrabens). Abflüsse höherer Jährlichkeit müssen jedoch noch berechnet und bewertet werden. Ebenso ist bei der Größe des Einzugsgebietes die Verwendung von mehreren Niederschlagsstationen zu berücksichtigen.

## 4.6. Öffentlichkeitsarbeit

### 4.6.1. Tag der Panke

Während des DBU Projektes wurde der „Tag der Panke“ eingeführt. Erstmals kamen die unterschiedlichen Interessengruppen im Panke-Einzugsgebiet zusammen. Die erste Veranstaltung wurde im Juni 2003 durchgeführt. Der zweite Tag der Panke erfolgte im Dezember 2005. Ziel der Veranstaltung ist zum einen, die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie der Öffentlichkeit bekannt zugeben, zum anderen sollen Veränderungen und Planungen an der Panke mit allen Beteiligten besprochen werden.

Bewirtschaftung der Panke – Planungs- und Handlungsfelder		
Moderation: Prof. Dr. Jahn		
13:30 – 14:00	Die Bewirtschaftung der Panke als komplexe Planungsaufgabe	Dr. Heiko Sieker (ing. Gesellschaft Prof. Dr. Sieker AG)
14:00 – 14:20	Pankegrünzug – Stand der Planung	Regina Krokowski (Bau Berlin)
		Bert Grigolet (sp. u. Lange u. Grigori)
14:20 – 14:40	Regenwasserbewirtschaftung in Berlin	Kay Joswig (Berliner Wasserbetriebe)
Diskussion		
15:00 – 15:20 Kaffeepause		
Auf dem Weg zum Bewirtschaftungsplan - Themen, Akteure, Kooperationen		
15:20 – 16:00		
Diskussion im Plenum		
16:00 Ende der Veranstaltung		

2. Tag der Panke am 13. Dezember 2005		
Begrüßung		
9:00 – 9:30	Dirkhard Klement (PDZ) Wolfgang Biegler	Becksbirgermeister Leiter der Abteilung Integrierter Umweltschutz der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung
Fünf Jahre Wasserrahmenrichtlinie – Wo stehen wir?		
Moderation: Dr. Heiko Sieker		
9:30 – 10:00	Endergebnisse der Bestandserhebung - wie geht's weiter	Hil. Rehdorf-Klein (zenopus AG)
10:00 – 10:30	Monitoring und Bewirtschaftung: Stand der Verfahren und Diskussions punkte	Dr. Petra Pothmann (Umweltbildungszentrum / Umweltbildungszentrum)
10:30 – 10:50 Kaffeepause		
Gestaltung und Unterhaltung städtischer und naturnaher Gewässer		
Moderation: Hart Rehdorf-Klein		
10:50 – 11:20	Beispiele für Gewässerunterhaltungen im urbanen Raum	Marin Halle (Jugendliche Wasser)
11:20 – 11:50	Fallstudie: Landschaftsplanerischer Gestaltung städtischer und stadtnaher Fließgewässer	Harald Krenz (Landschaftsplanung und Bau Berlin)
11:50 – 12:20	Forum 2010 – Die Wäasser in Hamburg sind vital	Wolfram Hanauer (BUND in Hamburg)
Diskussion		
12:30 – 13:30 Mittagessen		

Abbildung 90: Programm zum zweiten Tag der Panke

Es ist vorgesehen, den „Tag der Panke“ langfristig weiterzuführen. Protokolle und Meinungen zum zweiten Tag der Panke im Dezember 2005 sind unter <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/wasser/wrrl/de/panke.shtml> abrufbar.

Für die Senatsverwaltung Berlins hat sich die Form der Öffentlichkeitsbeteiligung in dieser Form als beispielhaft herausgestellt. Neben weiteren Informationen über das Internet (s. a. Kap. PankIS) zur Umsetzung der EG-WRRL können beim Tag der Panke durch das Zusammentreffen aller Beteiligten Probleme und Lösungsvorschläge für das Gewässer aufbereitet und diskutiert werden.

Langfristig soll der Planungsprozess von wasserwirtschaftlichen Projekten an Gewässern verbessert werden. In dieser Form der Beteiligung sind die verschiedenen Interessensvertreter aufgefordert, Ihre Anliegen bezüglich bestimmter Planungen zu äußern (z.B. neues Regenrückhaltebecken an der Panke).

Die für die Planung Beauftragten haben dafür Sorge zu tragen, dass entsprechende Einwände oder Wünsche angemessen in die Planung eingehen werden.

Während der erste Tag der Panke im Juni 2003 ein erstes informatives Treffen war (siehe „Tag der Panke Protokoll“ unter [www.pankis.de](http://www.pankis.de)), wurden beim zweiten Tag der Panke die Ergebnisse des DBU Projektes als auch Maßnahmen aus anderen Flusseinzugsgebieten vorgestellt, die für die Panke beispielhaft sein können.

#### 4.6.2. Das Panke-Informationssystem PankIS

Ziel des Panke-Informationssystems PANKIS ist die Förderung der Kommunikation und des Informationsaustausches zwischen Entscheidungsträgern, Planern und Öffentlichkeit, die sich mit der Panke und ihrem Einzugsgebiet befassen oder von Vorhaben bezüglich der Panke betroffen sind. Es besteht aus einer Internetpräsenz, die als Content-Management-System (CMS) umgesetzt wurde. In dieses CMS wurde ein Decision-Support-System (DSS) sowie ein internetbasiertes Geo-Informationssystem (WebGIS) integriert.

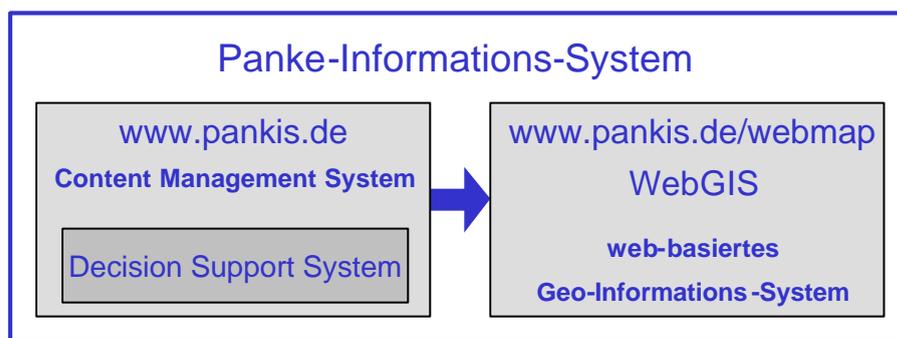


Abbildung 91: Das Panke-Informationssystem PankIS im Internet

Das PANKIS-CMS bildet das Eingangsportal zum Panke-Informationssystem. Es hat eine Nutzeroberfläche, wie sie von anderen Websites bekannt ist: mit Newsbeiträgen, nach Fachgebieten geordneten Artikeln, Downloadbereich und Foren. Das integrierte Decision-Support-System stellt Methoden zum Aufbau einer Entscheidungsmatrix für wasserwirtschaftliche Variantenvergleiche zur Verfügung sowie einen Maßnahmen- und einen Zielvariablenkatalog. Die Bereiche des CMS haben gestaffelte Zugriffsberechtigungen, so dass allgemeine Informationen für jedermann bereitstehen, anderen Nutzergruppen aber zusätzlich interne Bereiche zugreifen können. Das CMS bietet weiterhin entsprechend berechtigten Nutzern die Möglichkeit, Seiteninhalte online zu bearbeiten. Dafür sind weder spezielle Vorkenntnisse in der Internet-Programmierung noch ein direkter Zugang zum Internetserver erforderlich.

#### Die PANKIS Homepage



Abbildung 92: Die PANKIS Homepage

Das PANKIS-CMS ist verlinkt mit dem PANKIS-WebGIS. Das WebGIS basiert auf einem GeoMedia WebMap-Server. Es dient der Visualisierung von GIS-Daten und bietet dem Benutzer Funktionen wie Zoom, Messen und Attributabfrage. Es werden dynamische „on the fly“ Karten erzeugt, die es dem Betrachter ermöglichen, durch einfache Auswahl aktiver Karten räumliche und attributive Abfragen zu stellen. Es sind keine weiteren GIS Kenntnisse notwendig, die Geoinformationen liegen zeit- und ortsunabhängig vor. Die interaktiven Webapplikationen erlauben somit ein Forum, indem neue Informationen für alle Nutzer ständig aktualisiert und abrufbereit sind.

Im PANKIS-Webmap sind geographische Daten der Panke aus unterschiedlichen Quellen abgelegt. So sind zurzeit Einzugsgebiet, Gewässernetz, Einleitstellen des Trennsystems und Baustruktur aus dem UIS Berlin abgelegt. Je nach Auflösung werden Details aus den verschiedenen Themen sichtbar. Flächenberechnungen, Längenmessungen oder Koordinatenabfrage lassen sich online durchführen.

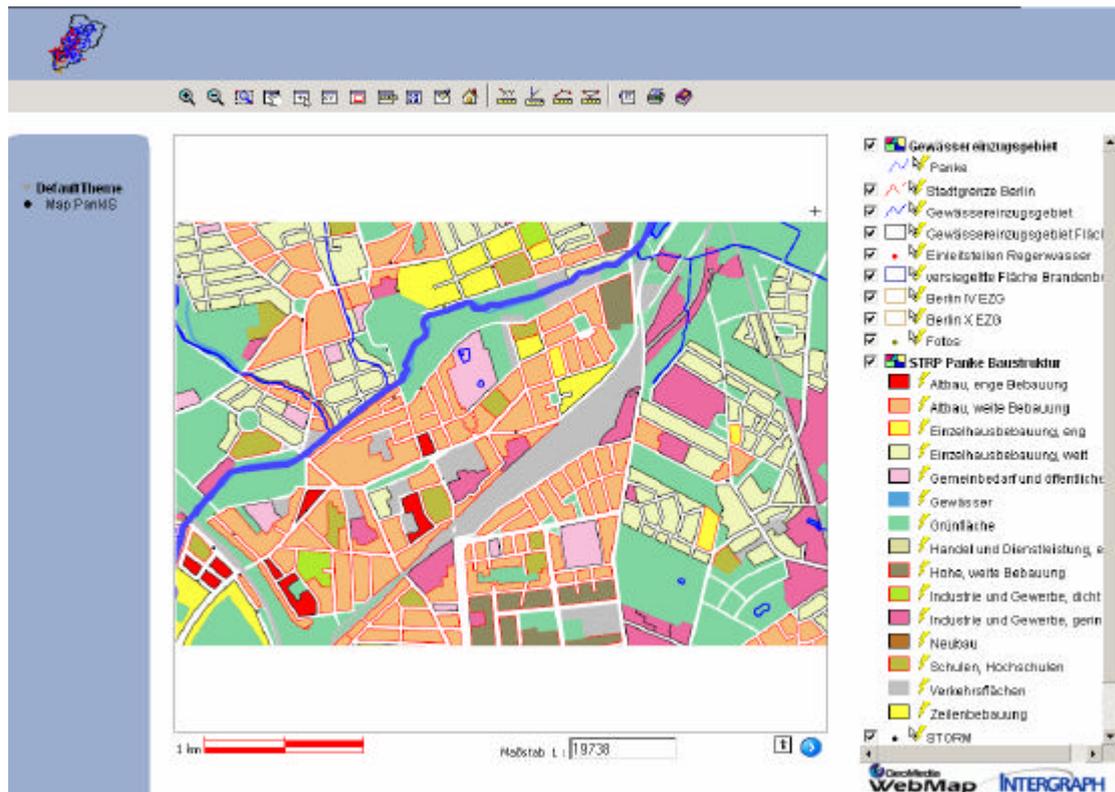


Abbildung 93: PANKIS-Webmap

### Zielgruppen

Das PANKIS als Kommunikationsplattform für Entscheidungsträger, Planer und Öffentlichkeit muss den unterschiedlichen Anforderungen und Interessen dieser Gruppen gerecht werden. Grundsätzlich können zwei Nutzertypen unterschieden werden:

- Experten
- Behörden: Senats-, Bezirksverwaltung u.a.
- Wasserentsorger
- Planer
- Naturschutzverbände
- Laien
- Anwohner u. weitere interessierte Öffentlichkeit
- Weitere mögliche Gruppen mit Bezug zur Panke: Vereine und Initiativen (Angler, Kleingärtner...), Kinder/Schüler

## Aufgaben des PankIS

Entsprechend der Zusammensetzung der Nutzergruppen und der Ziele des PankIS können die Anforderungen der Nutzer an das System ermittelt werden. Die Aufgaben, denen das PankIS dienen soll, sind im Folgenden aufgelistet mit Angabe der Zielgruppen und ggf. ihrer Interaktion.

- Öffentlichkeitsarbeit der Experten für Laien
- Datenaustausch zwischen Experten
- Diskussion unter Experten, unter Laien und zwischen Laien und Experten
- Unterstützung von wasserwirtschaftlichen Entscheidungsprozessen für Experten
- Vernetzung der Experten
- Bereitstellung geographischer Informationen für Experten
- ...

## Funktionalität

Für die Umsetzung der Aufgabenbereiche stehen verschiedene Teilbereiche des PankIS mit unterschiedlicher Funktionalität und Zielgruppe zur Verfügung. Die folgende Tabelle stellt die Teilbereiche nach Zielgruppen und Aufgaben geordnet dar:

Tabelle 21: Funktionalitäten des PankIS

	Öffentlichkeits- arbeit	Daten- austausch	Diskussion	Entscheidungs- hilfe	Vernetzung der Experten	GIS
Experten	Informationen zur Panke (schreiben)	Dokument- Management	Expertenforum	DSS	Aktuelles , Fach- informationen	WebGIS
Laien	Informationen zur Panke (lesen)		Laienforum, Gästebuch		Aktuelles (lesen)	

### Die Funktionen der Teilbereiche im Überblick

**Informationen zur Panke:** Submenüs mit je einem Artikel, Artikel als Text mit Bild, eine Möglichkeit zur Bereitstellung von Dateien zum Downloaden je Artikel wäre bei Bedarf zu ergänzen. Hier kann die Öffentlichkeitsarbeit mit einfließen. Veranstaltungen werden angekündigt (z.B. Tag der Panke), Bauvorhaben erörtert oder Texte (Zeitungsartikel etc..) bereitgestellt.

**Dokument-Management:** Dateiverwaltung in einer Ordnerstruktur, Upload- und Download-Funktion

**Expertenforum, Gästebuch:** Online-Forum mit Nutzerverwaltung

**DSS:** Entscheidungshilfesystem mit eigener Zugriffsverwaltung, Maßnahmen- und Zielgrößenkatalog

**Aktuelles:** News-Modul

**Fachinformationen:** Submenüs mit mehreren Artikeln, Artikel als Text mit Bild, Download verknüpfter Dateien.

### Zugriffsberechtigungen

Innerhalb des PankIS werden Bearbeitergruppen nach ihren Zugriffsberechtigungen unterschieden. Jeder Nutzer ist einer Bearbeitergruppe zugeordnet. Besucher die sich nicht auf der Seite anmelden, gehören zur Bearbeitergruppe „Anonyme User“. Die Zuordnung der Nutzer zu den Gruppen und der Zugriffsrechte zu den Gruppen wird vom Webmaster vorgenommen. Die Vergabe der Zugriffsberechtigungen muss mit den Anforderungen der Nutzer abgestimmt werden. Die folgende Tabelle zeigt die derzeitige Vergabe der Zugriffsrechte.

Tabelle 22: Zugriffsberechtigungen für das PankIS tabellarisch zusammen gefasst

	Bearbeitergruppe	Lesezugriff	Schreibender Zugriff	Administration
Laien	Anonyme User	Über PankIS, Aktuelles, Informationen zur Panke, Gästebuch (lesen)		
	Registrierte Mitglieder	DSS (allgemeiner Zugriff, eigene Zugangsberechtigung innerhalb des DSS), Maßnahmenkatalog	Gästebuch (schreiben) Maßnahmenkatalog (Sicherheit?!)	
Experten	Redakteur	Expertenforum, Fachinformationen, Dokument-Management = alle Rechte	Maßnahmenkatalog, Fachinformationen, Expertenforum, Dokument-Management, Bildmanager, Aktuelles, Informationen zur Panke	Fachinformationen, Informationen zur Panke
	Administrator	alle Rechte	Über PankIS	Forum, Aktuelles
	Webmaster	alle Rechte	alle Rechte	alle Rechte

### 4.6.3. Erweiterungsmöglichkeiten

Ein für Laien zugänglicher Bereich, auf der Experten eine Upload-Funktion zur Verfügung stellen, damit Dateien zur Verfügung gestellt werden können (bislang nur in Fachinformationen möglich). Der Zugang zum DSS und Maßnahmenkatalog ohne Schreibberechtigung. Im DSS kann jeder, der für ein Projekt als Nutzer eingetragen ist, die Matrix bearbeiten. Einen nur lesenden Zugriff gibt es (bislang) nicht. Ebenso kann der Maßnahmenkatalog bislang von allen Nutzern, die Maßnahmen abfragen dürfen, auch bearbeitet werden. Neben dem bestehenden Funktionen sind weitere nützlich:

- Eine Adressdatenbank mit E-Mail Adressen und Links
- Die Möglichkeit, Umfragen zu stellen
- Eine Terminkalenderverwaltung
- Formulare für die Anforderung von Info-Material
- Ein Newsletter mit Zugriffsberechtigung

#### 4.6.4. Literatur

- ATV A 118 (1998): Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen. Hennef, GFA e.V.
- Berliner Wasserbetriebe und bpi Hannover (1997): Entwässerungsnetz im Einzugsgebiet des Apw Mitte, Scharnhorststraße (Berlin VI); Kanalnetz- und Schmutzfrachtberechnung, Istzustand und Sanierungszustand
- Berliner Wasserbetriebe bpi Hannover (2002): Entwässerungsnetz im Einzugsgebiet des Apw Wedding, Bellermannstraße (Berlin X); Kanalnetz- und Schmutzfrachtberechnung, Istzustand und Sanierungszustand
- Böhme, M. (1998): Gewässerstruktur von Wuhle, Panke und Tegeler Fließ - Bewertung und Vorschläge zu deren Verbesserung, Bericht, 14.05.1998, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie, Berlin
- Bornemann, C., Londong, J., Freund, M., Nowak, O., Otterpohl, R., Rolfs, T. (1998): "Hinweise zur dynamischen Simulation von Belebungsanlagen mit dem Belebtschlammmodell Nr.1 der IAWQ." Korrespondenz Abwasser 45 (3): 455-462.
- Ehrhardt, S.; Hahn, M.; Viertel, P. & Zimmermann, B. Altlastenerkundung in Pankow am Beispiel der Rieselfelder, Bericht, UTB Gesellschaft für Informationstechnik Umwelt und Betriebsberatung.
- ifak system (2001): SIMBA (R) 4.0 - Handbuch - Referenz. Magdeburg, Institut für Automation und Kommunikation e.V.
- IWA Task Group on Mathematical Modelling for Design and Operation of Biological Wastewater Treatment (2000): Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2D and ASM3. London.
- Geiger, F., et al. (1992): Regenwasserbehandlungskonzept für Neuplanungen im nördlichen Berliner Einzugsgebiet von Panke und Nordgraben, Gutachten, 6.12.1992, Berliner Wasserbetriebe.
- Ginzel, G. & Nützmann, G. (1998): "Veränderung ökohydrologischer und hydrochemischer Verhältnisse in einem ehemaligen Rieselfeldareal im Nordosten Berlins", Bodenökologie & Bodengenese, Jg. 1998 (26), S. 73-85.
- Kratz, W. (1992): Bestimmung von organischen Schadstoffen im Boden von den ehemaligen Rieselfeldern in Berlin-Buch, 15.10.1992, Berliner Forsten, Berlin.
- Landesumweltamt Brandenburg LUA Brandenburg (1995): Rieselfelder Brandenburg - Berlin, Studien- und Tagungsberichte, Band 9.
- Lingke, (2003): Anwendung des ATV-Gütemodells auf kleine urbane Gewässer am Beispiel der Panke in Berlin. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden; Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften Fachrichtung Wasserwesen
- Luckner, L.; Nestler, W. & Sowa, E. (1992): "Umweltgerechte Nutzung ehemaliger Rieselfelder Berlins", Wasserwirtschaft-Wassertechnik (Heft 5).

- Möller, K.; Halfmann, J.; Kade, N. & Heinz, R. (1994): Bodenkundliche, hydrologische und biotische Aspekte erläutert am Beispiel der Ortsteile Schönow, Zepernick und Schwanebeck der Gemeinde Panketal, Deutsche Bundesstiftung Umwelt.
- Nützmann, G. (1992): Abschlußbericht über die hydrologisch-hydrogeologischen Untersuchungen der ehemaligen Rieselfelder Berlin-Buch, 11.12.1992, Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Berlin.
- Otterpohl, R., Raak, M., Rolfs, T. (1994): A Mathematical Model for the Efficiency of the Primary Clarification. IAWQ 17th Biennial int. Conference, Budapest (Hungary).
- Peters, C., König, F. (2001): Nachweis von Fremdwasserzuflüssen im Kanalnetz des AZV Pinneberg. Studienarbeit im Fach Abwasserwirtschaft an der Technischen Universität Hamburg-Harburg (Prof. Dr. Ing. Ralf Otterpohl) in Zusammenarbeit mit dem Klärwerk Hetlingen des AZV Pinneberg (Dipl. Ing. Michael Reh).
- Renger, M.; Schlenker, L.; Eggert, T. & Hoffmann, C. (1992): Bodenökologische Untersuchungen auf den Rieselfeldflächen Buch, Forschungsgutachten, Dez. 1992, Land Berlin.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin (1993): Sanierungs- und Gestaltungskonzeption für die ehemaligen Rieselfelder im Bereich des Forstamtes Buch - Phase 1 (1991-93), Arbeitsmaterialien der Berliner Forsten, Nr. 4.
- Sieker, F. & Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Rudolph & Partner (1992): Projektgebiet Abwasserzweckverband Panketal, 1992, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Dahlwitz-Hoppegarten.
- Statistisches Landesamt Berlin (2005): Die kleine Berlin Statistik. Berlin, Statistisches Landesamt Berlin.
- Wassmann, H. (1993): Bewirtschaftungsplan Panke, Nordgraben und Tegeler Fließ (nach § 36 b WHG), Vorstudie, 124 S., Ökologie & Landschaftsentwicklung & Hydro-Consult-GmbH, Berlin.
- Wassmann, H. (1997): Wasserwirtschaftliche Rahmenbedingungen für eine gewässer- und landschaftsverträgliche städtebauliche Entwicklung auf dem Barnim im Nordosten Berlins, Dezember 1997, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie, Berlin.
- Wöbbecke, K. & Schlag, G. (1993): Limnologisches Gutachten zu den Gewässern auf dem Gebiet der Rieselfelder im Nordosten Berlins, März 1993, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie, Berlin.
- Ziegler, D. (2001): Untersuchungen zur nachhaltigen Wirkung der Uferfiltration im Wasserkreislauf Berlins, Dissertation, 24.4.2001, Fakultät III - Prozesswissenschaften, Technische Universität Berlin.

## 5. Fallstudie Saidenbach

### 5.1. Einleitung

Das Einzugsgebiet der Trinkwassertalsperre Saidenbach im Osterzgebirge (Sachsen) ist eine weitere, im Rahmen von WSM300 bearbeitete Fallstudie. Die Fallstudie Saidenbach stellt mit einem Einzugsgebiet von ca. 60 km<sup>2</sup> den kleinsten Betrachtungsraum innerhalb der drei Fallstudien des Projekts WSM300 dar. Weiterhin handelt es sich um ein Einzugsgebiet einer Trinkwassertalsperre. Unter anderem durch die Sächsische Trinkwassergewinnungsverordnung werden an das Gewässer höchste Ansprüche in Bezug auf die Wasserqualität gestellt. Aus diesem Grund standen in der Fallstudie Saidenbach Maßnahmen zur Sicherung der Trinkwasserqualität im Vordergrund.

Für die Erfassung der Eintragspotenziale aus diffusen Quellen insbesondere im Bereich Landwirtschaft bildete die Fallstudie Saidenbach im Projektverbund das Beispiel eines Einzugsgebietes mit ausgeprägt landwirtschaftlicher Nutzung. Für die damit verbundenen signifikanten anthropogenen Belastungen für den Oberflächenwasserkörper und das Grundwasser (z.B. Belastungen aus diffusen Quellen aus den landwirtschaftlich genutzten Bereichen des Einzugsgebietes) wurden Werkzeuge (Schätzverfahren, Modelle) zur Abschätzung der stofflichen und nichtstofflichen Belastungen der Talsperre hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit geprüft, Minderungsmaßnahmen bzw. –strategien insbesondere der Landwirtschaft zusammengestellt und hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit bzw. ihrer Kosten-Nutzen-Effekte untersucht und abgewogen. Zur Information der Öffentlichkeit über die Projektergebnisse wurde auf der Grundlage eines Geographischen Informationssystems (ArcGIS) ein Web-GIS-System auf dem Server der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) etabliert.

Zur Fallstudie Trinkwassertalsperre Saidenbach wurde ein Abschlussbericht erstellt (THIEL u. SCHMIDT, 2006). Der Bericht kann von der Internet-Seite der LfL herunter geladen werden (Internet-Adresse: [http://jaguar.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/1872\\_2.pdf](http://jaguar.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/1872_2.pdf)).

### 5.2. Einbindung der Akteure und Öffentlichkeitsbeteiligung

Die Arbeit in der Fallstudie hatte zunächst die Dokumentation der durch die verschiedenen Akteure im Einzugsgebiet bereits praktizierten Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz, die beispielhafte Erfassung der dort ablaufenden Entscheidungsprozesse (und der dafür verfügbaren bzw. verwendeten Datengrundlagen) als auch der daran beteiligten Akteure (Fachbehörden, Gemeinden, Privatpersonen usw.) zum Ziel. Auf diese Weise wurden seit Projektbeginn die betroffenen Entscheidungsträger in die Entwicklung des WSM300-DSS einbezogen, um durch deren kritische Projektbegleitung eine möglichst praxisnahe Umsetzung der Projektergebnisse zu erzielen. Involvierte Entscheidungsträger in der Fallstudie Saidenbach (Bezeichnungen Stand 06/2003) sind in der Tabelle 23 dargestellt.

Zur Etablierung einer Projekt begleitenden Arbeitsgruppe mit Entscheidungsträgern der in Tabelle 23 aufgeführten Einrichtungen für die Fallstudie Saidenbach wurde am 20. Mai 2003, in Zusammenarbeit mit der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, eine erste Arbeitsgruppensitzung durchgeführt. In den Jahren 2004 sowie 2005 wurden weitere Arbeitsgruppensitzungen durchgeführt, bei

denen aus der laufenden Projektarbeit bzw. über die Projektergebnisse berichtet und der weitere Fortgang der Projektbearbeitung diskutiert wurde.

Tabelle 23: Entscheidungsträger in der Fallstudie Talsperre Saidenbach

#### **Bereich Behörden**

Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen (LTV)  
 Talsperrenmeisterei Freiburger Mulde/Zschopau  
 Staumeisterei Saidenbach  
 Labor Talsperre Saidenbach  
 Regierungspräsidium Chemnitz (RP)  
 Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) – (verschiedene Referate)  
 Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) – (verschiedene Referate)  
 Sächsisches Landesforstpräsidium – (verschiedene Referate) (heute: Sachsenfort)  
 Stadt Chemnitz  
 Landratsamt Freiberg (Untere Wasserbehörde, Sachgebiet Immissions- und Abfallrecht, Bodenschutz)  
 Staatliches Umweltfachamt Chemnitz (StUfA)  
 Staatliches Amt für Landwirtschaft Zwönitz/Marienberg  
 Staatliches Amt für Landwirtschaft mit Lehranstalt Freiberg-Zug  
 Straßenbauamt Chemnitz  
 Bereich Wasser/Abwasser  
 Südsachsen Wasser GmbH/Zweckverband Fernwasser Südsachsen  
 Abwasserzweckverband Olbernhau  
 Ökologische Station Neunzehnhain (TU Dresden)

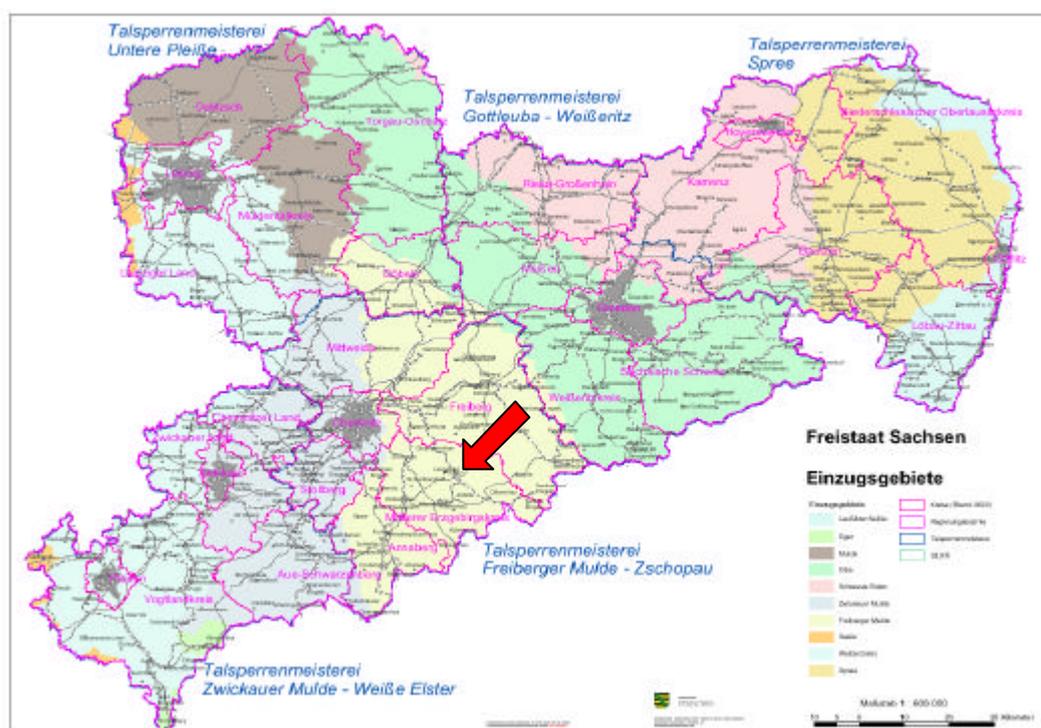
#### **Bereich Vor-Ort**

Verschiedene Landwirte  
 Bürgermeister der Gemeinden Großhartmannsdorf, Pockau, Pfaffroda, Stadt Lengefeld

## 5.3. Gebietsbeschreibung

Die Saidenbachtalsperre (Volumen 22,4 Mio. m<sup>3</sup>, 146 ha Oberfläche), dem Einzugsgebiet Mulde zugeordnet, befindet sich ca. 20 km südwestlich von Freiberg/Sachsen (Abbildung 94) im Osterzgebirge (Regierungsbezirk Chemnitz, Landkreis Mittlerer Erzgebirgskreis und Landkreis Freiberg). Sie unterliegt der staatlichen Verwaltung durch die Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen (LTV) und dient seit ihrer Inbetriebnahme im Jahre 1933 der Trinkwasserversorgung des Großraumes Chemnitz.

Das Talsperreneinzugsgebiet besitzt eine Fläche von 60,7 km<sup>2</sup>. Die landwirtschaftliche Nutzung beträgt 66 % (27 % Grünland, 73 % Ackerland), Waldanteil 24 % und Siedlungsfläche 5% (Quelle: Sattelitenbildauswertung IRS-1C, LfUG, 2001). Das Einzugsgebiet erstreckt sich über Höhenlagen zwischen 394 m ü. NN und 711 m ü. NN. 50 % der Fläche im EZG liegen zwischen 500 - 575 m. Die Talsperre Saidenbach befindet sich auf einer Höhe von 439 m. Die höchsten Erhebungen befinden sich im Osten, mit dem Saidenberg (700 m) und der Voigtsdorfer Höhe (707 m). Mehr als 50% des Untersuchungsgebietes sind zwischen 3- 7° geneigt (THÜRKOW, 2002).



Quelle: LfUG (Hrsg.), Stand 04/2003, „Kartenmäßige Darstellung auf der Grundlage der VÜK 200 (Landesvermessungsamt Sachsen)“

Abbildung 94: Lage des Untersuchungsgebietes im Einzugsgebiet der Freiberger Mulde in Sachsen  
 Das Untersuchungsgebiet besitzt charakteristisches Mittelgebirgsklima und ist dem Stau- bzw. Leebereich des Erzgebirgsvorlandes zuzuordnen. Der mittlere Jahresniederschlag liegt nach SCHWARZE et al. (1999) bei 940 mm, wobei ca. 60 % durch Evapotranspiration in den Wasserkreislauf überführt und 40 % als Gesamtabfluss wirksam werden. Die Abflusskomponente spaltet sich auf in Direktabfluss (11 %), schneller unterirdischer Abfluss (46 %) und verzögerter unterirdischer Abfluss (43 %). Die mittlere Lufttemperatur beträgt 6,5°C.

Die Talsperre wird durch die vier Zuflüsse Haselbach (EZG 26,8 km<sup>2</sup>), Saidenbach (EZG 22,4 km<sup>2</sup>), Lippersdorfer Bach (EZG 4,7 km<sup>2</sup>) und Hölzelbergbach (EZG 0,76 km<sup>2</sup>) gespeist. Vorwiegend über den Haselbach, teilweise auch über den Saidenbach, wurde seit 1975 Wasser über einen Kunstgraben der Oberen Revierwasserlaufanstalt (RWA) Freiberg aus dem außerhalb des EZG liegenden Talsperreneinzugsgebiet Rauschenbach übergeleitet. Gewässer, welche den Kunstgraben kreuzen, werden über diesen hinüber geleitet.

Dominante Bodenartengruppen im Untersuchungsgebiet sind stark lehmige Sande und sandige Lehme. Die Ackerzahlen der Böden liegen zwischen 32 – 35 (THÜRKOW, 2002). Der geologische Untergrund des Talsperreneinzugsgebietes wird vorwiegend von basenarmen Gesteinen (Muskovitgneis, Aplitgneis, Granatglimmerfels, Gneis) mit geringen Säurepufferkapazitäten gebildet. Darüber folgen holozäne Schuttkegel sowie Sande und Lehme der Talböden. In den Lockergesteinsdecken des Untersuchungsgebietes können sich in der Regel keine großräumig zusammenhängenden Grundwasserleiter ausbilden. Es dominiert überwiegend ein von der Ausprägung des Reliefs abhängiger hypodermischer Abfluss (THÜRKOW, 2002). Ein schneller unterirdischer Abfluss wird durch die Struktur der Böden begünstigt, besonders wenn unter einer relativ gut durchlässigen Schicht ein Stauhorizont folgt. Etwa 70 % der Böden im Untersuchungsgebiet sind Pseudogleye und Gleye, welche diese Eigenschaft aufweisen.

Das gesamte Einzugsgebiet der Talsperre ist seit dem 13.06.1963 Trinkwasserschutzzone (Rat des Kreises Marienberg, 1963). Die landwirtschaftliche Nutzung erfolgt auf der Grundlage der Mindestanforderungen an die ordnungsgemäße landwirtschaftliche Nutzung nach der Sächsischen Schutz- und Ausgleichsverordnung (SächsSchAVO). Zusätzliche Begrenzungen ergeben sich durch die Teilnahme von im Einzugsgebiet wirtschaftenden Landwirten am Programm „Umweltgerechte Landwirtschaft (UL)“.

## 5.4. Defizite

Im Einzugsgebiet leben gegenwärtig ca. 4,0 Tsd. Einwohner in sechs Ortschaften. Die durchschnittliche Besiedlungsdichte liegt bei 66 Einwohnern/km<sup>2</sup>. Die vorwiegend als Straßendörfer ausgebildeten Ortschaften liegen entlang der verschiedenen Zuflüsse der Talsperre. Der Anschlussgrad an die Einrichtungen der öffentlichen Wasserversorgung im EZG ist sehr unterschiedlich und variiert zwischen Lippersdorf (96 %) bis Dörnthal/ Haselbach 43 %. Insgesamt existieren im Gebiet ca. 350 Hausbrunnen, welche oftmals die Wasserversorgung der Haushalte und Gehöfte darstellen (THÜRKOW, 2002). Im Einzugsgebiet der Talsperre Saidenbach existieren z. Zt. ca. 20 abflusslose Gruben. Diese Hauskläranlagen stellen potenziell Punktquellen für stoffliche Einträge (Nährstoffe, Fäkalkeime) in das Grundwasser bzw. die Talsperre dar.

Durch die Zusammenarbeit mit den o. a. Entscheidungsträgern konnten folgende Problemlagen im Einzugsgebiet festgestellt werden:

- diffuse Stoffeinträge aus landwirtschaftlich genutzten Bereichen als Folge von Bodenerosion durch Wasser sowie Nährstoffausträge über die Bodenpassage,
- Stoffeinträge aus Hauskläranlagen (Nährstoffe, Fäkalkeime),
- Stoffeinträge ausgehend von der Bundesstraße 101,
- Folgewirkungen veränderter N- und P-Gehalte im Wasser der Talsperre (Algenspektrum),

- veränderte Stoffzufuhr aus der Pedosphäre als Folge von Waldumbaumaßnahmen bzw. Wiederaufforstungen von Wiesenbereichen,
- Informationsdefizit der Akteure.

## 5.5. Eingesetzte Modelle und Schätzverfahren

Für folgende Problembereiche wurden im Rahmen der Fallstudie Saidenbach Modelle bzw. Schätzverfahren erprobt und hinsichtlich ihrer zukünftigen Anwendung im Rahmen eines DSS geprüft:

- Abschätzung der Bodenerosion durch Wasser,
- Abschätzung der Phosphoreinträge,
- Abschätzung der Stickstoffeinträge.

Die Prüfung der Modelle und Schätzverfahren wurde durch Kosten-Nutzen-Bewertungen von Stoffaustragsminderungsmaßnahmen im Bereich der Landwirtschaft als Grundlage für Entscheidungsfindungen ergänzt.

Die geprüften Modelle und Schätzverfahren zur Bestimmung des Umfangs der Bodenerosion durch Wasser, des N und P-Austrags usw. einschließlich der Prüfung der Wirksamkeit von Minderungsmaßnahmen werden im Anschluss detaillierter erläutert. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Prozesse des Landschaftswasser- und Stoffhaushaltes, d. h. der vertikale und laterale Transport von Wasser, Nährstoffen usw. u. a. abhängig von der geoökologischen Struktur (Relief, Boden, Vegetation) und deren Nutzung sind. Aufgrund der skalenspezifischen Dominanz terrestrischer Stoffströme existieren dabei verschiedene Datengrundlagen (Auflösungen), verschiedene Bilanzierungsverfahren, verschiedene Informationsgehalte der Daten und verschiedene erreichbare Ziele. Für die räumliche Erfassung der Belastungszustände und Nutzungsunverträglichkeiten in agrarisch geprägten Landschaften erfolgte die Verwendung jeweils von gröberen und feineren Bilanzierungsmethodiken, welche sich an der Datenlage und den Zielsetzungen orientierten. Ziel der Abschätzungen war die Identifikation belasteter Flächen, die Erhöhung der Transparenz und der Akzeptanz im Planungsprozess, die bessere Interpretation von eventuellen Feldmessungen und die gezielte Planung von Monitoring- und Bewirtschaftungsmaßnahmen.

### 5.5.1. Abschätzung der Bodenerosion durch Wasser

Um auf Flusseinzugsgebietsebene gezielt Maßnahmen zum Schutz vor diffusen Stoffeinträgen in die Oberflächengewässer projektieren zu können, ist es notwendig, die für die Stofflieferungen relevanten Areale, differenziert nach ihrer Bedeutung, im Landschaftsraum Modell gestützt zu prognostizieren. Werden im Zuge eines Einzugsgebietsmanagements auf den Flächen, die einen Hauptteil zur Gewässerbelastung beitragen, Maßnahmen durchgeführt, lassen sich die Einträge wirksamer reduzieren. Durch das Aufzeigen dieser Belastungsschwerpunkte kann entschieden werden, an welchen Stellen die Umsetzung einer Schutzmaßnahme am effektivsten ist. Ziel der Abschätzungen ist somit die Identifikation belasteter bzw. belastender Flächen und die gezielte Planung von Bewirtschaftungsmaßnahmen.

Zur Abschätzung und Darstellung der Erosionsgefährdung im Einzugsgebiet der Talsperre Saidenbach wurden als Grundlage für konkrete Schutzmaßnahmen verschiedene, nachfolgend dargestellte Ansätze geprüft.

#### 5.5.1.1 Berechnung der potenziellen Erosionsgefährdung nach bodenkundlichen Bedingungen – „Eb“ (Bodenspezifische Erosionsgefährdung)

Bei der Methode Bodenspezifische Potenzielle Erosionsgefährdung - Eb (BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (BGR), 2000) erfolgt die Bewertung der Gefährdung des Bodens durch Wassererosion über den langjährigen, mittleren Bodenabtrag als Folge der prozessbedingenden Faktoren Bodenart und Skelettgehalt des Bodens. Das Ergebnis (Abbildung 95) bildet ein metrisch skaliertes dimensionsloser Wert, welcher identisch mit dem Produkt aus bodenartabhängigem und steinbedeckungsabhängigem Anteil des K-Faktors der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG, SCHWERTMANN et al., 1990) ist.

Wald- und Siedlungsflächen wurden nicht betrachtet (weiße Flächen in Abbildung 95). Erkennbar aus dieser ersten Gefährdungsabschätzung, welche für alle landwirtschaftlichen Flächen im Einzugsgebiet durchgeführt wurde, ist eine erhöhte Erosionsgefährdung im Norden der Talsperre Saidenbach. Dies ist begründet durch die nach der Bodenkonzeptkarte Sachsen ausgewiesene Bodenart Ut3 sowie deren höhere potenzielle Erosionsanfälligkeit (höherer  $K_B$ -Faktor). Eine geringe Erosionsgefährdung (rein nach bodenkundlichen Bedingungen) ist im Osten des Einzugsgebietes zu verzeichnen, was hier auf die ausgewiesene Bodenart Su2 zurückzuführen ist. Die zugeordneten  $K_S$ -Faktoren variierten insgesamt zwischen 0,87 - 1,00. Problematisch erwies sich an einigen Stellen die Zuordnung der entsprechenden  $K_S$ -Faktoren zu den Angaben aus der Bodenkarte, da hier die entsprechenden Informationen fehlten. An diesen Stellen wurde durchgehend ein  $K_S$ -Faktor von 1 verwendet.

Der Ansatz nach der Methode  $E_p$  ist geeignet, um die Erosionsdisposition im mittleren Maßstab zu ermitteln und stoffliche Belastungsschwerpunkte abzugrenzen. Die Methode bewertet die potenzielle Erosionsgefährdung nach ausgewählten Einflussgrößen. Sie führt zu relativen Zielgrößen auf der Ordinalskala (z.B. sehr gering – sehr hoch). Das Verfahren ist für einfach zu erhebende Basisdaten konzipiert und erlaubt nur die Abschätzung des Einflusses einzelner Faktoren. Nach BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2000) ist diese Methode für alle Maßstabsbereiche geeignet.

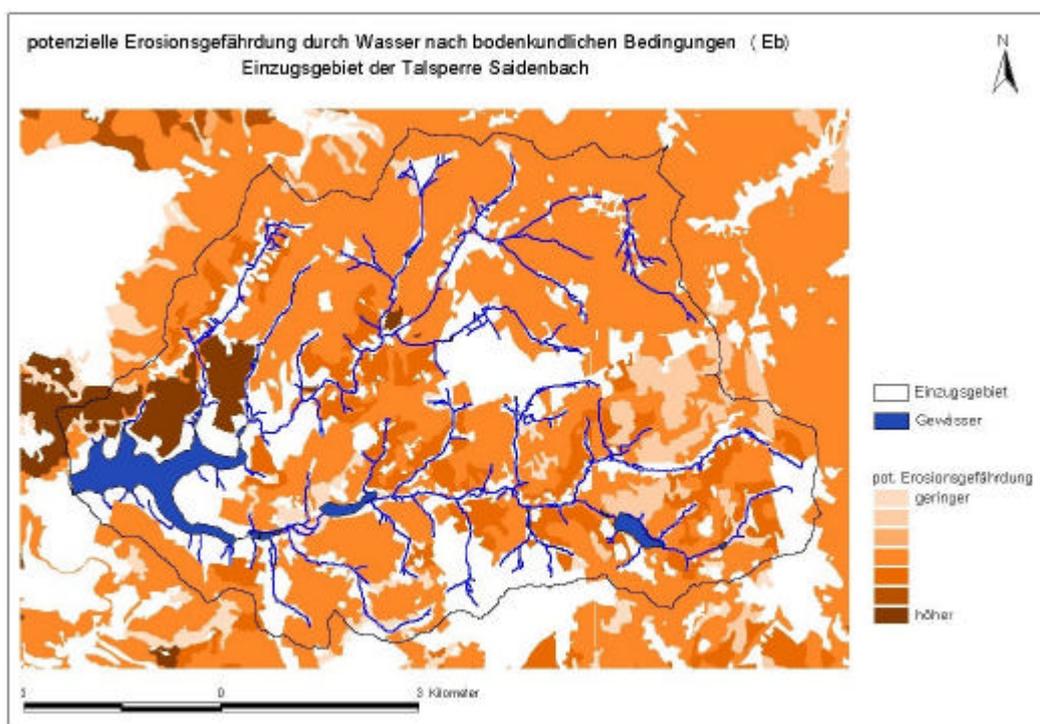


Abbildung 95: Potenzielle Erosionsgefährdung (Eb) im Einzugsgebiet der Talsperre Saldenbach

#### 5.5.1.2 Berechnung der potenziellen Erosionsgefährdung nach bodenkundlichen, morphologischen und klimatischen Bedingungen - „EfW“

Der Kennwert „EfW“ (BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE, 2000) als weiteres Maß für die potenzielle Wassererosionsgefährdung ist konzeptionell identisch mit dem Produkt aus R-, K- und S-Faktor der ABAG (SCHWERTMANN et al., 1990). Er ist ein Maß für die Standortempfindlichkeit bezüglich Wassererosion bei konstanten Belastungsbedingungen. Die Parameter Bodenart und Steingehalt wurden aus der Bodenkonzeptkarte Sachsen entnommen (siehe Ableitung „Eb“ in voran stehenden Ausführungen). Für die Berechnung des R-Faktors wurden umfangreiche langjährige Klimadaten (Sommerniederschläge ( $N_{SO}$ ) von Mai-Oktober) des Deutschen Wetterdienstes, der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen und der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft ausgewertet.

Das Einzugsgebiet der Talsperre Saldenbach konnte in Niederschlagspolygone (Abbildung 96) gemäß Thiessen-Gewichtung eingeteilt werden. Der R-Faktor wurde nach der nachstehenden Formel 2 gemäß BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2000) ermittelt:

$$R = 0,152 * NSO - 6,88$$

Formel 2: Berechnung des R-Faktors für das Einzugsgebiet der Talsperre Saldenbach

Die Gleichung mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,85 ist nach BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2000) für das gesamte Bundesgebiet gültig. Nach GIESECKE et al. (1983) ist die Thiessen-Gewichtung eine geeignete und weit verbreitete Methode zur

Berechnung des Gebietsniederschlags. Es können hierdurch auch sehr ungleichmäßig verteilte Stationskonfigurationen erfasst werden. Orographische Einflüsse bleiben jedoch unberücksichtigt. Die verwendeten Niederschlagssummen der Monate Mai-Oktober (Tabelle 24) variierten im Einzugsgebiet der Talsperre Saidenbach zwischen 466 mm bis 543 mm.

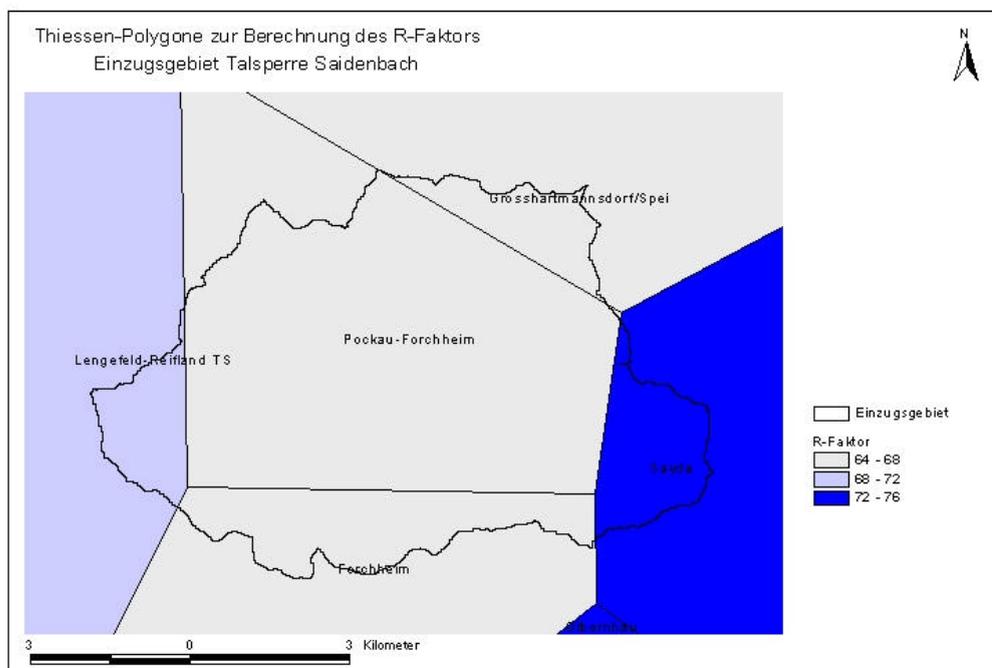


Abbildung 96: Thiessen-Polygone zur Berechnung des R-Faktor

Tabelle 24: Errechnete R-Faktoren (Formel 2) für die verwendeten Thiessen-Polygone			
Stationsname	$N_{So}$	Wichtung	R-Faktor
Sayda	543	0,21	75,66
Olbernhau	530	0,23	73,68
Pockau-Forchheim	491	0,03	67,75
Grosshartmannsdorf	489	0,27	67,45
Lengefeld-Reifland	518	0,22	71,86
Forchheim	466	0,04	63,95

Die Ermittlung der LS-Faktoren (Topographiefaktoren) erfolgte über die ArcView Extension „Topo-crop“ (SCHMIDT, 2002). Die Landnutzung wurde aus dem Digitalen Landschaftsmodell DLM 25/1 (1996, Landesvermessungsamt Sachsen) übernommen. Die Grundlage für die Geländeparameter bildete das Digitale Geländemodell DGM (Landesvermessungsamt Sachsen) mit einer Rasterweite von 20 m.

In der Abbildung 97 sind die ermittelten und nach Tabelle 25 eingestuft potenziellen Erosionsgefährdungen durch Wasser dargestellt.

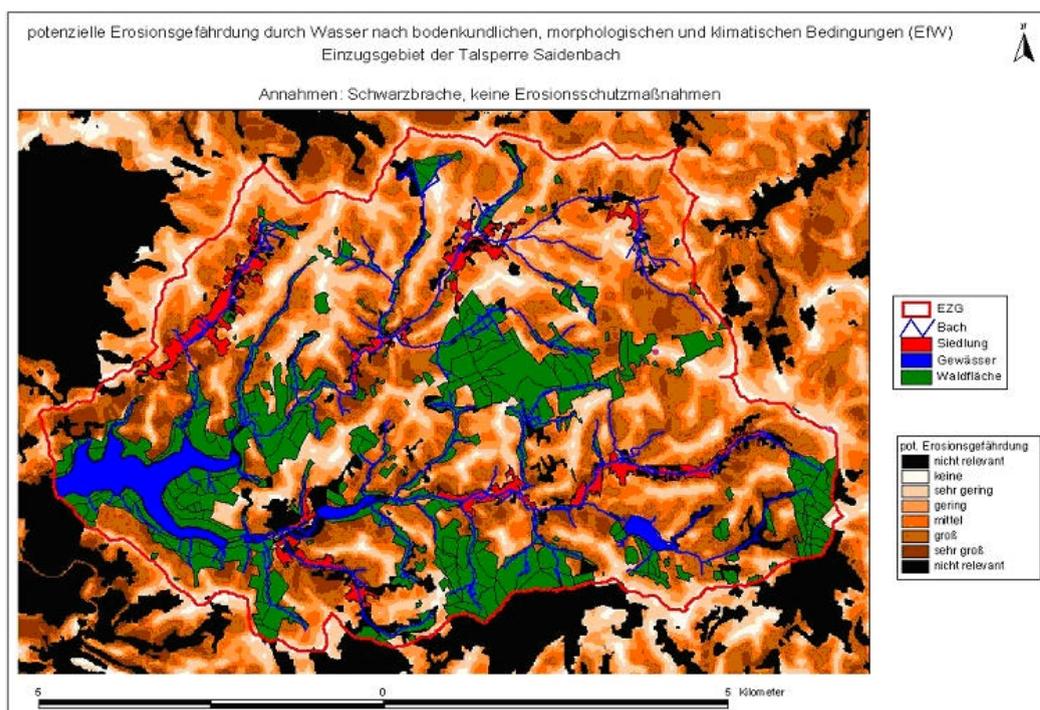


Abbildung 97: Potenzielle Erosionsgefährdung (EfW) im Einzugsgebiet der TS Saidenbach  
(Annahmen: Schwarzbrache, keine Erosionsschutzmaßnahmen)

Tabelle 25: Kennwertklassifizierung der potenziellen Erosionsgefährdung EfW (Annahmen: Schwarzbrache, keine Erosionsschutzmaßnahmen) nach BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE, 2000

t/ha*a	Bezeichnung
<1	keine
0 – 5	sehr gering
5 – 10	gering
10 – 15	mittel
15 – 30	groß
>30	sehr groß

Potenziell hohe Bodenabträge (Abbildung 97) sind im Norden des Einzugsgebietes der Talsperre zu erwarten. Dies begründet sich in der höheren Erosionsanfälligkeit der Bodenart Ut3 und dem im Vergleich zum Großteil des Einzugsgebietes höheren R-Faktor von 72. Stärker erosionsgefährdete Bereiche finden sich auch jeweils an den Zuläufen der Talsperre, begründet durch die stellenweise starken Hangneigungen (teilweise 10 - 15°), sowie im Osten des Einzugsgebietes, aufgrund der starken Hangneigung (ca. 8°) in der Umgebung des Saidenberges (vgl. THÜRKOW, 2002).

Nach BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2000) ist die Abschätzung der potenziellen Wassererosion mit der Methode EfW für alle Maßstabsbereiche geeignet. Zu beachten ist, dass die Methode nur für Humusgehalte bis ca. 2 % und bei Vernachlässigung des Einflusses von Aggregation und Wasserdurchlässigkeit Gültigkeit besitzt. Der verwendete Kennwert „EfW“ ist konzeptionell identisch mit dem Produkt aus R-, K- und S-Faktor der ABAG. Im vorliegenden Fall wurden keine Veränderungen von Hanglängen (z.B. Verkürzung von erosiven Hanglängen), Be-

wirtschaftungsmaßnahmen oder Fruchtfolgen im Sinne des Erosionsschutzes betrachtet. Zur Abschätzung eines langjährigen (Zeitraum ca. 20 Jahre) mittleren Bodenabtrags ist der Einsatz der ABAG aufgrund der wenigen und breit verfügbaren Eingangsdaten praktisch an jedem Standort in Deutschland möglich.

Für die Anwendung der ABAG ergeben sich folgende Einschränkungen:

- Es wird nur der durch Flächen- und Rillenerosion verursachte Bodenabtrag erfasst.
- Es ist nur die Prognose eines mittleren Abtrags für einen längeren Zeitraum (ca. 20 Jahre) möglich.
- Es wird prognostiziert, wie viel Boden die erodierte Fläche verlässt. Eine Aussage zur Boden-deposition erfolgt nicht.
- Es wird nur der Abtrag im Mittel eines Feldes prognostiziert.

### 5.5.1.3 Simulation der Bodenerosion durch Wasser mit dem Erosionssimulationsprogramm EROSION 3D

Das Modell EROSION 2D/3D ist ein physikalisch begründetes, ereignisbezogenes Modell zur Simulation der Wassererosion auf Ackerflächen. Das Modell basiert auf dem von SCHMIDT (1990) entwickelten Impulsansatz. Die hydrologischen Teilprozesse sind auf der Grundlage des Infiltrationsansatzes von GREEN & AMPT (1911) modelliert. Während das Modell EROSION 2D zur Erosionssimulation auf Einzelhängen entwickelt wurde, ist EROSION 3D für kleinere und mittlere Einzugsgebiete konzipiert. Das Modell wurde im Rahmen des in Sachsen durchgeführten „Erosionsmessprogramms Sachsen“ umfangreich validiert. Weiterhin wurde das Modell für zahlreiche Simulationen erfolgreich angewandt (Von WERNER; MICHAEL, 2000). Das Modell wurde als Werkzeug zur Bodenerosionsabschätzung speziell für die Planungspraxis auf regionaler und kommunaler Ebene entwickelt. Im Gegensatz zu den vorab dargestellten Ansätzen zur Abschätzung der potenziellen Erosionsgefährdung ist EROSION 3D in der Lage, einzelne Erosionsereignisse abzubilden. Das Modell zerlegt den Erosionsprozess in die Teilprozesse Loslösung, Transport und Deposition der Bodenpartikel. Somit liefert das Modell nicht nur Informationen über die Höhe des Feststoffaustrages, sondern auch über den Ablagerungsort und die Korngrößenfraktionen der sedimentierten Partikel. Die modellspezifischen Eingangsparameter sind im Handbuch EROSION 2D/3D (SCHMIDT et al., 1996) dokumentiert.

Für die Simulation der Bodenerosion durch Wasser mit EROSION 3D wurde das komplette Einzugsgebiet der Talsperre Saidenbach in sieben Teileinzugsgebiete gegliedert. Simuliert wurde jeweils ein „schlimmster Fall“ (Szenario „worstcase“), d. h. flächendeckend befindet sich die Kulturart im Saatbettzustand und die Bodenfeuchte entspricht der Feldkapazität. Dabei wurde flächendeckend eine konventionelle Bodenbearbeitung angenommen. Dem wurde flächendeckend eine konservierende Bodenbearbeitung (Zinkenrotor, 50% Bodenbedeckung) gegenübergestellt (Szenario „bestcase“). Zugrunde gelegt wurde die aktuelle Landnutzungsverteilung nach Satellitenbilddauswertungen des Satelliten IRS-1C (LfUG, 2004) mit dem Stand 2000/2001. Die simulierte Kulturart bzw. die simulierten Bodenbearbeitungsverfahren auf diesem Ackerland entsprechen nicht dem Ist-Stand. Durch die Simulation der fiktiven Szenarios (worstcase sowie bestcase) kann die den Bodenabtrag mindernde Leistung einer veränderten Bodenbearbeitung aufgezeigt werden.

In der Fallstudie Saidenbach wurden im Einzelnen die Wirkungen folgender Szenarien hinsichtlich der Verminderung des Sedimenteintrags für jeweils sieben Teileinzugsgebiete der Talsperre Saidenbach mit EROSION 3D modelliert:

- 10-, 20- und 100jähriges Extremniederschlagsereignis bei flächendeckend konventioneller sowie konservierender Bodenbearbeitung (Niederschlagsereignis Anfang Mai, Kulturen im Saatbettzustand, Bodenfeuchte entsprechend Feldkapazität, 10 m Raster),
- 10-, 20- und 100jähriges Extremniederschlagsereignis bei flächendeckend konventioneller sowie konservierender Bodenbearbeitung; mit Grünstreifen auf gefährdeten Flächen (Niederschlagsereignis Anfang Mai, Kulturen im Saatbettzustand, Bodenfeuchte entsprechend Feldkapazität, 10 m Raster),
- 10-, 20- und 100jähriges Extremniederschlagsereignis bei flächendeckend konventioneller sowie konservierender Bodenbearbeitung mit begrünten Tiefenlinien (grassed waterways) - (Niederschlagsereignis Anfang Mai, Kulturen im Saatbettzustand, Bodenfeuchte entsprechend Feldkapazität, 10 m Raster),
- 10-, 20- und 100jähriges Extremniederschlagsereignis bei einem Kombinationsszenario (begrünte Tiefenlinien und Grünstreifen) für beide Bodenbearbeitungsvarianten (konventionell sowie konservierend, Niederschlagsereignis Anfang Mai, Kulturen im Saatbettzustand, Bodenfeuchte entsprechend Feldkapazität, 10 m Raster),
- typisches Referenzjahr mit flächendeckend konventioneller bzw. konservierender Bodenbearbeitung im Einzugsgebiet.

Die notwendigen Eingangsparameter wurden aus dem Handbuch EROSION 2D/3D (SCHMIDT et al., 1996) übernommen. Aus früheren Studien lagen Werte zur Korngrößenverteilung und zum  $C_{org}$ -Gehalt an repräsentativen Standorten im Einzugsgebiet vor. Daraus wurden für das Einzugsgebiet Thiessen – Polygone gebildet. Durch die GIS-gestützte Bestimmung der Bodenerosionsgefährdung mit Hilfe von EROSION 3D können Erosionsgefährdungskarten für das Einzugsgebiet erarbeitet werden. In diesen mit EROSION 3D zu erstellenden Karten kennzeichnen gelbe bis rote Bereiche erosionsanfällige Standorte, grüne bis blaue Raster kennzeichnen Akkumulationsbereiche (Abbildung 98 und Abbildung 99). Übertragbar auf andere Einzugsgebiete kann dies als erster Schritt eines zweistufigen Verfahrens gesehen werden, bei dessen zweitem Schritt Simulationsmodelle (vgl. EROSION 3D) an erosionsdisponierten Standorten zum Einsatz kommen können.

Durch die Simulation eines 20jährigen Niederschlagsereignisses (41,5 mm Niederschlag in 60 min) für ein „worstcase-Szenario“ (Abbildung 98) sowie ein „bestcase-Szenario“ (Abbildung 99) im Teileinzugsgebiet „Kunstteich“ (Größe 339 ha) konnte beispielhaft eine Bodenabtragsminderung von ca. 95 % (Gesamteintrag an Sediment in die Vorsperre) bei Annahme einer flächenhaft konservierenden Bodenbearbeitung im Vergleich zu einer flächenhaft konventionellen Bodenbearbeitung ermittelt werden. Der mittlere flächenhafte Nettoaustrag an Bodenmaterial fiel dabei von 30,7 t/ha auf 1,3 t/ha. Da die Angabe des mittleren flächenhaften Nettoaustrages wenig aussagefähig für die einzelnen Flächenbereiche ist, wurde die jeweilige Anzahl der Rasterzellen der entsprechenden Erosions- oder Depositionsklassen vergleichend gegenübergestellt (Abbildung 100 und Abbildung 101).

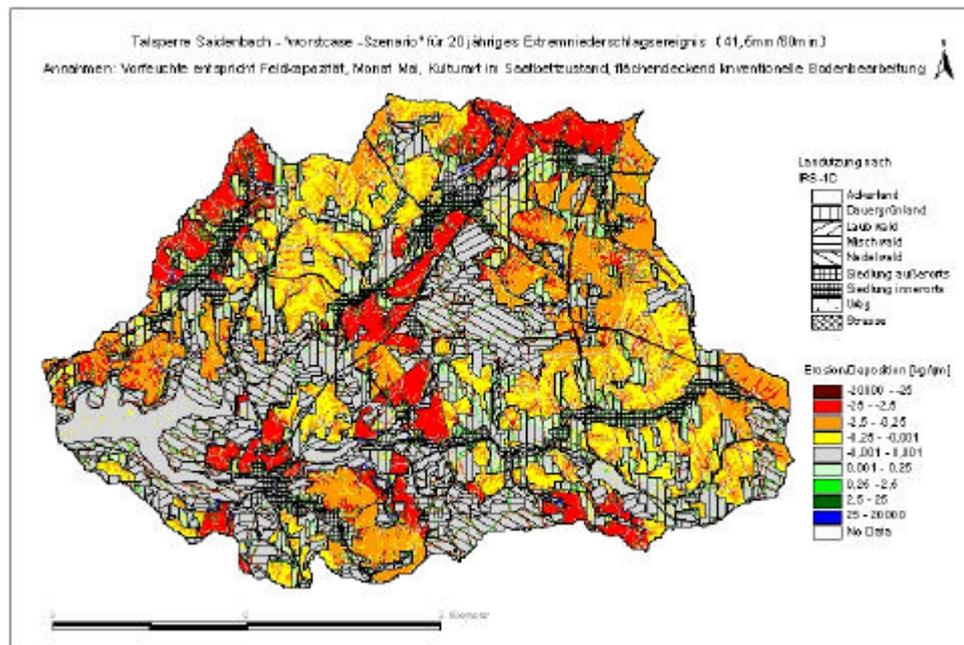


Abbildung 98: Worstcase“-Szenario für ein 20jähriges Extremniederschlagsereignis für das Einzugsgebiet der Talsperre Saidenbach (Simulation mit EROSION 3D)

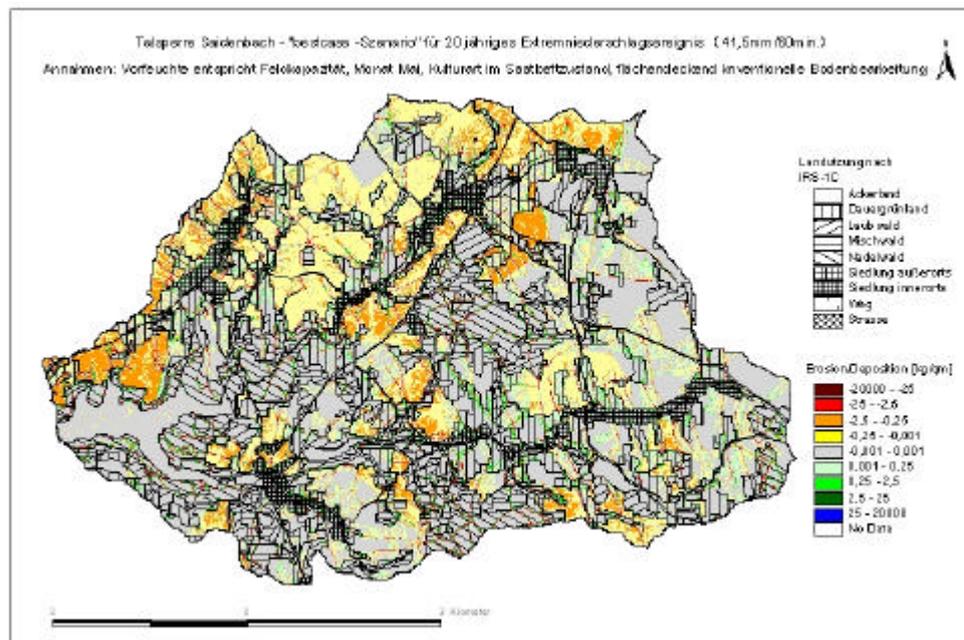


Abbildung 99: „Bestcase“-Szenario für ein 20jähriges Extremniederschlagsereignis für das Einzugsgebiet der Talsperre Saidenbach (Simulation mit EROSION 3D)

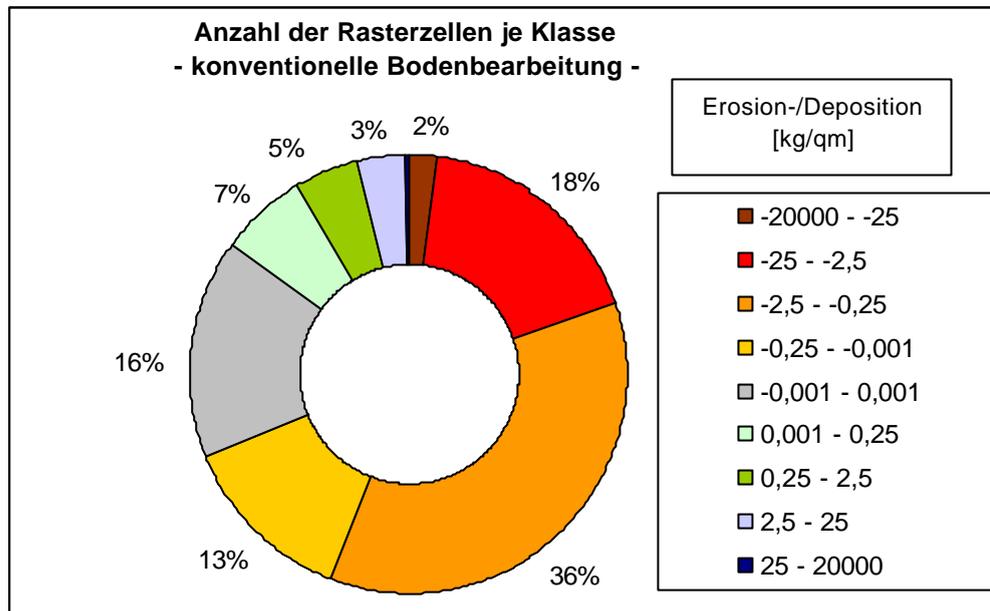


Abbildung 100: Prozentuale Verteilung der Rasterzellen (10\*10m) der verschiedenen Erosions- sowie Depositionsklassen bei EROSION 3D-Simulation eines „worstcase“-Szenarios im Teil-einzugsgebiet „Kunstteich“ bei Annahme einer flächendeckend konventionellen Bodenbearbeitung (20jährlicher Niederschlag)

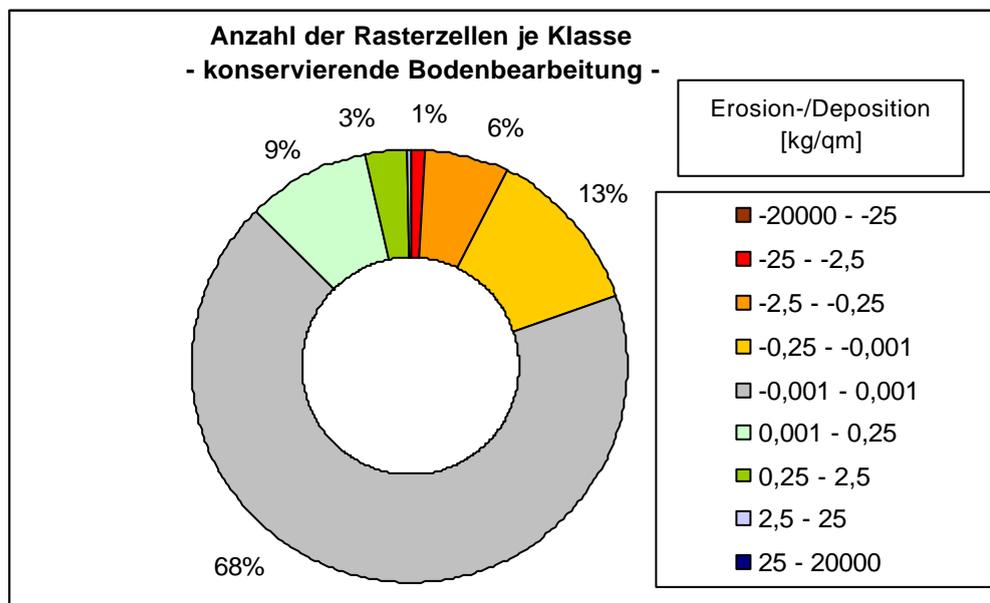


Abbildung 101: Prozentuale Verteilung der Rasterzellen (10\*10m) der verschiedenen Erosions- sowie Depositionsklassen bei EROSION 3D-Simulation eines „bestcase“-Szenarios im Teil-einzugsgebiet „Kunstteich“ bei Annahme einer flächendeckend konservierenden Bodenbearbeitung (20jährlicher Niederschlag)

Bei der Simulation einer flächenhaften konventionellen Bodenbearbeitung (worstcase-Szenario) fallen 20 % der Rasterflächen (Abbildung 100) in die stark erosionsgefährdeten Bereiche von  $>25 \text{ kg/m}^2$  bzw.  $25\text{-}2,5 \text{ kg/m}^2$  Erosion. Bei einer konservierenden Bodenbearbeitung (bestcase-Szenario) wären dies 1,2% der Rasterflächen (Abbildung 101). 69 % der Rasterflächen weisen bei einer konventionellen Bodenbearbeitung im angenommenen „worstcase“-Szenario bei einem 20jährigen Niederschlagsereignis eine potenzielle Erosionsgefährdung auf. Im Fall einer konservierenden Bearbeitung betrifft dies nur 20 % der Rasterflächen.

In Abbildung 102 ist ein „worstcase“-Szenario der Simulationen mit dem Modell EROSION 3D für das Teileinzugsgebiet „Kunstteich“ beispielhaft dargestellt. In den Erosionsbereichen mit deutlich linienhafter Ausbildung (gestrichelte Umrandung) können so weitere Erosionsschutzmaßnahmen geplant und simuliert werden.

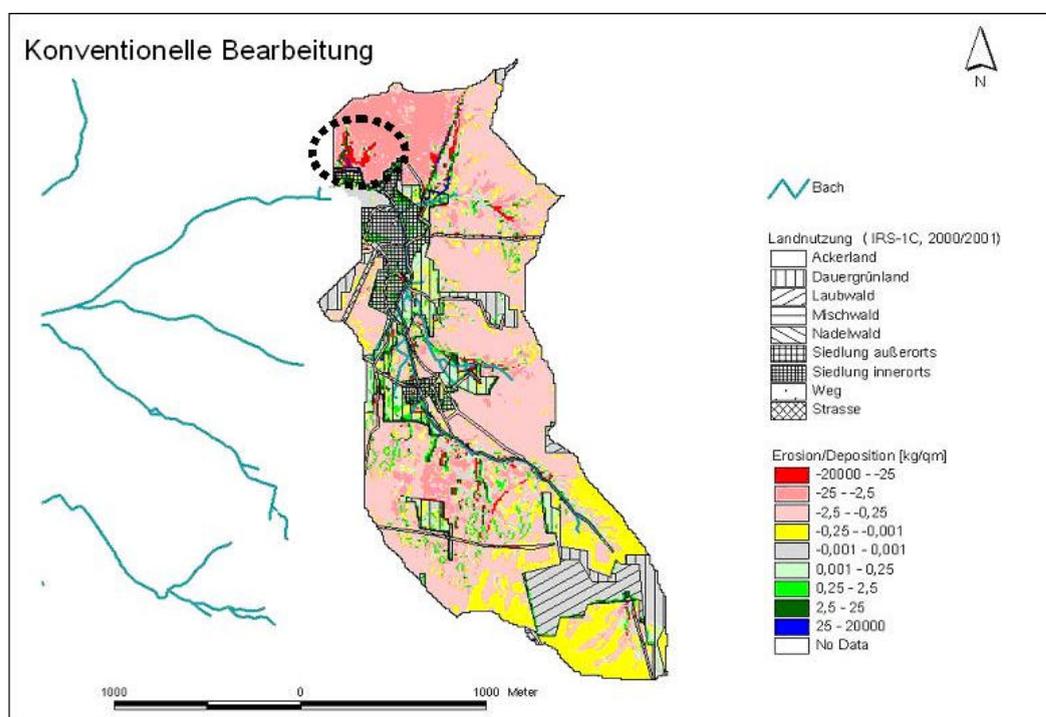


Abbildung 102: Simulation eines worstcase-Szenarios mit EROSION 3D im Teileinzugsgebiet „Kunstteich“ bei Annahme einer flächendeckend konventionellen Bodenbearbeitung (20jähriger Niederschlag; Bereich linienhafter Erosion siehe gestrichelte Umrandung)

Durch die Berechnung der Sedimentfrachten während eines typischen Referenzjahres konnte für die einzelnen Teileinzugsgebiete der Talsperre Saidenbach eine Minderung des Sedimenteintrags bei flächendeckend konservierender Bodenbearbeitung zwischen 40 – 95 % ermittelt werden

#### 5.5.1.4 Abschätzung des Einflusses von Grünstreifen auf die Bodenerosion durch Wasser

Das Ausmaß der Bodenerosion steigt mit zunehmender erosionswirksamer Hanglänge, so dass eine Reduzierung der erosionswirksamen Hanglänge notwendig sein kann. Schläge mit großen erosionswirksamen Hanglängen können in Abhängigkeit von der Hangneigung durch Versickerungshilfen (Grünstreifen, Sedimentauffanggräben, Dämme) oder Strukturelemente unterbrochen werden (z.B. Einsaat von Grünlandstreifen oder Anlage paralleler Streifen quer zum Hang mit wechselnder Fruchtfolge).

Die erosionsmindernden Wirkungen von querlaufenden Grünstreifen variieren in Abhängigkeit von Streifenbreite, Streifenabstand, Dichte der Vegetationsdecke, Hangtopographie, Abflussintensität, Sedimentkonzentration des Abflusses und der Bewirtschaftung. Zur Optimierung von Grünstreifen hinsichtlich ihrer erosionsmindernden Wirkungen sind Erosionsmodellierungen unerlässlich. Im Projekt wurde hierzu EROSION 3D eingesetzt.

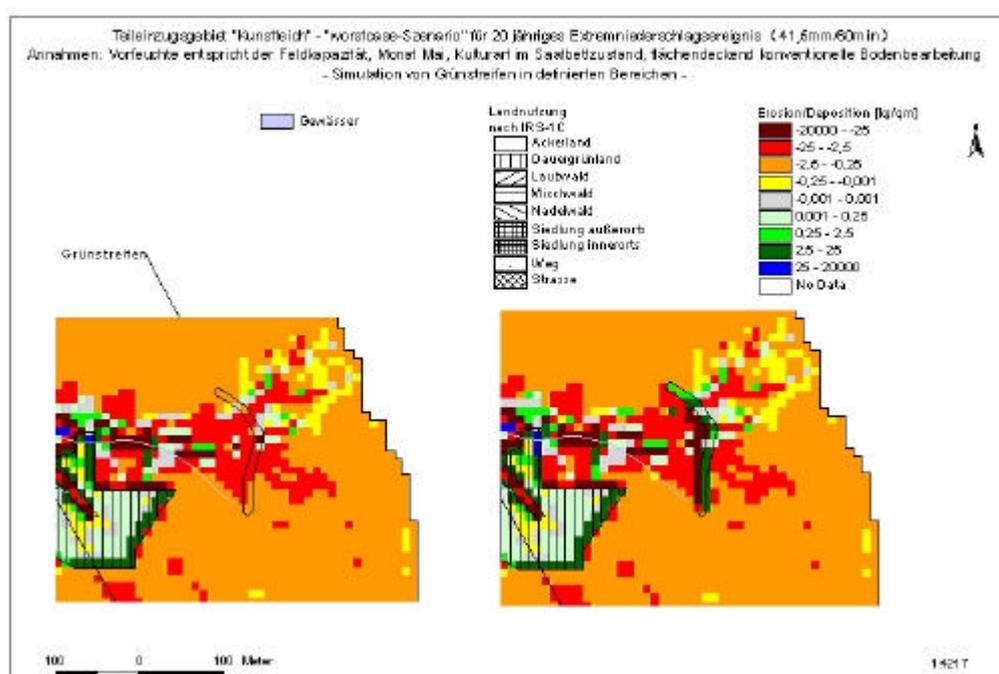


Abbildung 103: Bodenerosion durch Wasser ohne (linkes Bild) und mit Anlage eines Grünstreifen (rechtes Bild) im Teileinzugsgebiet „Kunstteich“ (Modellierung mit EROSION 3D)

Für die durchgeführten Simulationen mit EROSION 3D wurden Grünstreifen zur Verkürzung von erosiven Hanglängen verwendet. Ausgehend von den jeweiligen Grundsimulationen (10-, 20- und 100jähriges Extremniederschlagsereignis bei flächendeckend konventioneller bzw. konservierender Bodenbearbeitung) wurden die Grünstreifen virtuell in einer Breite von 10 Metern angelegt. Die Verortung erfolgte in Anlehnung an die Erosionsbereiche „-25 - -2,5 kg Bodenabtrag/m<sup>2</sup>“ der Grundsimulationen und an die Geomorphologie. In der Abbildung 103 ist beispielhaft die virtuelle Anlage eines Grünstreifens exemplarisch für das Teileinzugsgebiet „Kunstteich“ (worstcase-Szenario für ein 20jähriges Extremniederschlagsereignis, Annahmen: Vorfuchte entspricht der Feldkapazität, Monat

Mai, Kulturart im Saatbettzustand, flächendeckend konventionelle Bearbeitung) dargestellt. In Bezug auf die umfassende Bewertung des Szenarios (u. a. hinsichtlich der Kosten) wurde auch die für die Grünstreifen notwendige Fläche erfasst.

Aus der Abbildung 103 wird erkennbar, dass es unmittelbar auf dem simulierten Grünstreifen zur Sedimentation des mitgeführten Bodenmaterials kommt. Es wird aber auch deutlich, dass direkt im Anschluss an den Grünstreifen, die Erosion in verstärktem Maße ( $20000 - 25 \text{ kg Bodenabtrag/m}^2$ ) auftritt. Diese Erscheinung konnte in allen Teileinzugsgebieten für die gesamten simulierten Extremniederschlagsereignisse bei konventioneller (Sedimenteinträge in den einzelnen Teileinzugsgebieten bei Berücksichtigung von Grünstreifen 7 - 23% höher) als auch konservierender Bodenbearbeitung (Sedimenteinträge in den einzelnen Teileinzugsgebieten bei Berücksichtigung von Grünstreifen 1 – 12 % höher) beobachtet werden.

Dies ist aller Wahrscheinlichkeit nach darauf zurückzuführen, dass der größere Strömungswiderstand der Pflanzendecke in den Grünstreifen den oberflächlichen Abfluss verzögert. Dies führt zur teilweisen oder vollständigen Ablagerung des bereits erodierten Materials. Da der Abfluss beim Austritt aus dem Grünstreifen kein oder nur wenig Sediment führt, setzt die Erosion jedoch hinter dem Grünstreifen mit größerer Intensität ein (SCHMIDT, J., 1996). Dieser unerwünschte Erosionseffekt der Grünstreifen überwiegt gegenüber dem erwünschten Sedimentationseffekt umso mehr, je mehr Wasser oberflächlich abfließt und je weniger Sediment dabei transportiert wird. Um einen gewünschten Sedimentationseffekt zu erreichen, muss ein Großteil des Abflusses im Grünstreifen zur Infiltration gebracht werden. Von den Grünstreifen wäre in diesem simulierten Fall (ausgewählte Breite, Modelleingangsparameter) keine Erosionsminderung zu erwarten. In Ergänzung dazu wurde mit EROSION 3D für Teileinzugsgebiete der Talsperre Saidenbach die Anlage von grassed waterways in Kombination mit den vorher simulierten Grünstreifen im Sinne einer Verringerung der Tiefenlinienerosion und Verkürzung der erosiven Hanglänge modelliert (Einzelergebnisse nicht dargestellt).

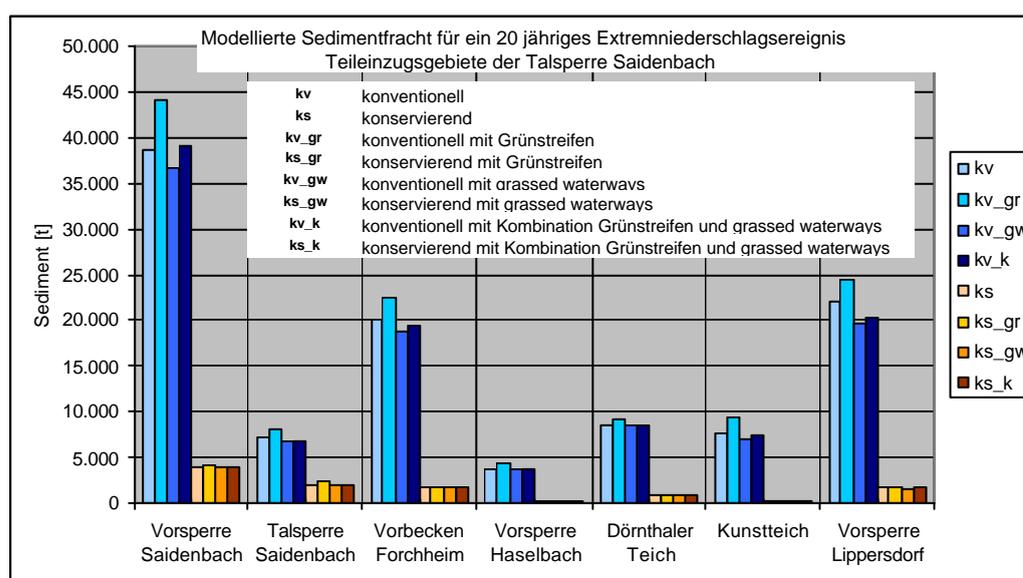


Abbildung 104: Modellierte Sedimentfracht für ein 20-jährliches Extremniederschlagsereignis für unterschiedliche Szenarien in den Teileinzugsgebieten der Talsperre Saidenbach

Die Ergebnisse der für unterschiedliche Szenarien modellierten Sedimentfrachten sind in Abbildung 104 und Abbildung 105 dargestellt. Die Beispiele zeigen, dass mit dem Modell EROSION 3D detaillierte Abschätzungen hinsichtlich der Wirkung verschiedenster erosionsmindernder Maßnahmen möglich sind. Diese bilden die Grundlage für die Auswahl der im Einzelfall wirksamsten Erosionsschutzmaßnahme. Allerdings steigen für solche Arbeiten die Ansprüche an die bereitzustellenden Daten in erheblichem Umfang an. Dies gilt auch für die Durchführung der Erosionsmodellierung und die Bewertung der Modellierungsergebnisse. Insgesamt ist EROSION 3D gut geeignet zur detaillierten Erosionsschutzplanung in Einzugsgebieten.

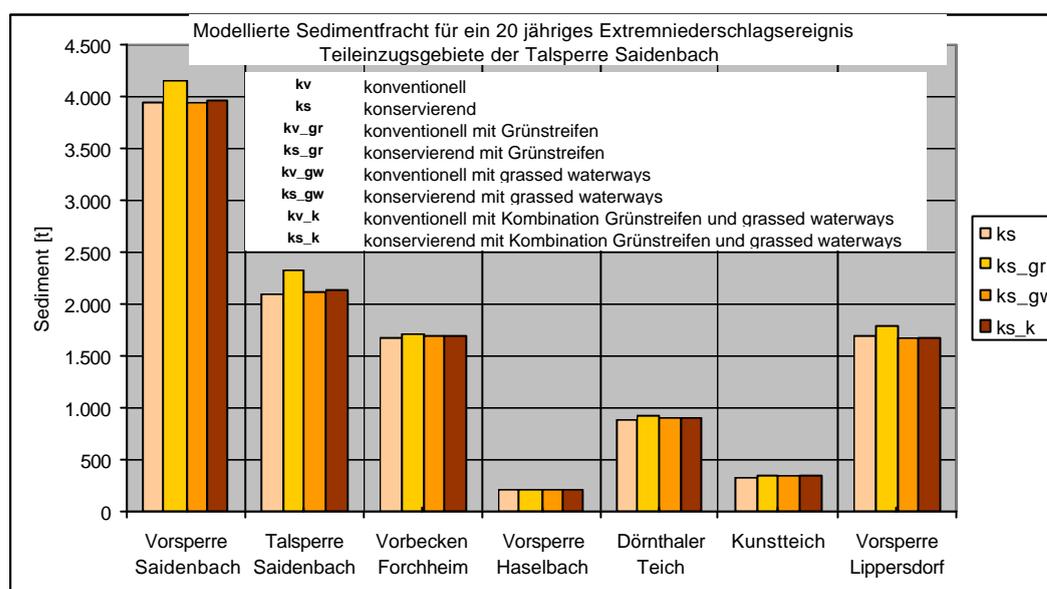


Abbildung 105: Modellierte Sedimentfracht für ein 20-jähriges Extremniederschlagsereignis für unterschiedliche Szenarien in den Teileinzugsgebieten der Talsperre Saldenbach. Detaildarstellung für konservierende Bodenbearbeitung mit ergänzenden Schutzmaßnahmen (grassed waterways, Grünstreifen usw., Gesamtdarstellung der Szenarien s. Abbildung 104)

#### Kostenkalkulation der Erosionsminderungsszenarien

Bei der Diskussion über die Anwendbarkeit bzw. Umsetzbarkeit von Maßnahmen (z.B. konservierende Bodenbearbeitung) ist eine ökonomische Einschätzung unerlässlich. Aus diesem Grund wurden im Projekt beispielhaft entsprechende Kalkulationen durchgeführt. Für die einzelnen o. a. Szenarien zur Erosionsminderung wurden die Kosten (Stand 12/2004) auf der Ebene Deckungsbeitrag II in €/ha und der Ebene Verfahrenskostenfreie Leistung in €/ha durch den Fachbereich 3 Agrarökonomie, Ländlicher Raum der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft berechnet. Für die Ebene Deckungsbeitrag II wurden alle Leistungen (Verkaufserlöse, EU-Flächenbeihilfe), die variablen Kosten und die Personalkosten (Feldarbeit) betrachtet. Für die Ebene Verfahrenskostenfreie Leistung wurden zusätzlich die fixen Maschinenkosten (Abschreibungen, Versicherungen, Zinsansatz) mit in die Berechnungen einbezogen. Die bei der Kostenkalkulation der Erosionsschutzmaßnahmen gewählte Vorgehensweise ist ausführlich im LfL-Abschlussbericht zur Fallstudie Saldenbach dargestellt (THIEL u. SCHMIDT, 2006).

Die Kalkulationen zeigen beispielhaft, wie differenziert sich Veränderungen bei der Schlaggestaltung, dem Bodenbearbeitungsverfahren usw. kostenseitig auswirken. Dies gilt es bei der Maßnahmenentscheidung zu beachten.

### 5.5.2. Abschätzung der Phosphoreinträge

Im Mittel des Zeitraumes 1991 bis 1998 sank die P-Belastung der Talsperre Saidenbach im Vergleich zu den Jahren 1981 bis 1990 um ca. 45%. Dabei fiel der Rückgang des SRP-Eintrages (gelöster reaktiver Phosphor) mit mehr als 60% etwa doppelt so hoch aus wie der des PP (partikuläres Phosphat) (PAUL et al., 2000). Die Veränderungen im Bereich PP sind nach PAUL et al. (2000) auf die überwiegend niedrigeren Zuflussmengen in den 90 Jahren zurückzuführen. Die SRP-Abnahme ist auf geringere P-Austräge aus Siedlungen als Folge der Ablösung P-haltiger durch P-freie Waschmittel zurückzuführen. Konträr zum Rückgang der P-Belastung war diese nicht durch eine adäquate Abnahme der Phytoplanktonentwicklung in der Talsperre begleitet. Nach PAUL et al. (2000) wäre eine nachhaltige Verbesserung der Wasserbeschaffenheit in der Talsperre Saidenbach nur durch eine weitere Senkung des P-Eintrages zu erreichen.

Es wird deutlich, dass der P-Eintrag in die Talsperre Saidenbach weiter betrachtet und der Beitrag der unterschiedlichen Quellen (Landwirtschaft, Hausabwasser usw.) abgeschätzt werden muss.

Zur Simulation der Auswirkungen verschiedener Nutzungsszenarien auf den erosionsbedingten P-Abtrag von Ackerflächen im Einzugsgebiet der Talsperre Saidenbach wurde wiederum das Modell EROSION 3D verwendet. Grundlage für eine derartige Abschätzung des P-Eintrags in die Talsperre Saidenbach ist die Information zu den P-Gehalten von z.B. Ackerflächen im Einzugsgebiet. Oftmals stellt das Fehlen entsprechender Daten zu P-Gehalten von Einzelflächen eine Schwierigkeit bei der einzugsgebietsbezogenen Abschätzung der P-Austräge dar. Im Untersuchungsgebiet wurde auf die Messergebnisse von 25 Dauertestflächen der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft zurückgegriffen. Die Auswertung dieser Daten ergab ein flächengewichtetes Mittel (25 Werte, 1998 - 2003) von 6,7 mg CAL-P je 100 g Boden für das Einzugsgebiet. Dieser Wert wurde für die Abschätzung der partikulär gebunden P-Frachten verwendet. In der Abbildung 106 ist die Häufigkeitsverteilung der verwendeten P-Werte dargestellt. Die Klassen wurden entsprechend der Nährstoffversorgungsstufen des VDLUFA gegliedert. Es wird deutlich, dass 80% der verwendeten Messwerte in den Bereich der Nährstoffversorgungsstufe C (optimaler Gehalt) und der Nährstoffversorgungsstufe B (niedriger Gehalt) fallen. Im Vergleich zu einer Abschätzung aus den Hintergrundwerten (4\*4 km Raster) des Bodenatlas Sachsens oder zu einer Beprobung bildet das gewählte Verfahren der Auswertung vorhandener Datenbestände eine gute Alternative.

Bei diesen für die P-Frachtenabschätzung durch Simulation mit dem Modell EROSION 3D verwendeten P-Gehalten handelt es sich um die pflanzenverfügbaren P-Anteile (DL-Auszug bzw. CAL-Auszug) der obersten Bodenschicht der beprobten Dauertestflächen. Um die Anonymität der Landwirte zu wahren, wurde das gesamte Einzugsgebiet der Talsperre Saidenbach in 5 Polygone unterteilt, welche sich an den Teileinzugsgebieten der Talsperre orientieren. Außerdem konnten P-Analysewerte von jährlich räumlich wechselnden Ackerschlägen genutzt werden (z.B. Daten, die im Rahmen der Düngungsberatung erfasst wurden). Die Daten variieren allerdings in größerem Umfang. Aufgrund dieser Unzulänglichkeiten wurden keine Berechnungen zu potenziell eingetragenen P-Frachten auf dieser Datengrundlage durchgeführt. Für größere Flusseinzugsgebiete (vgl. BEHRENDT et al., 1999) stellt eine Auswertung der Daten auf Gemeindeebene jedoch eine geeignete Methode dar.

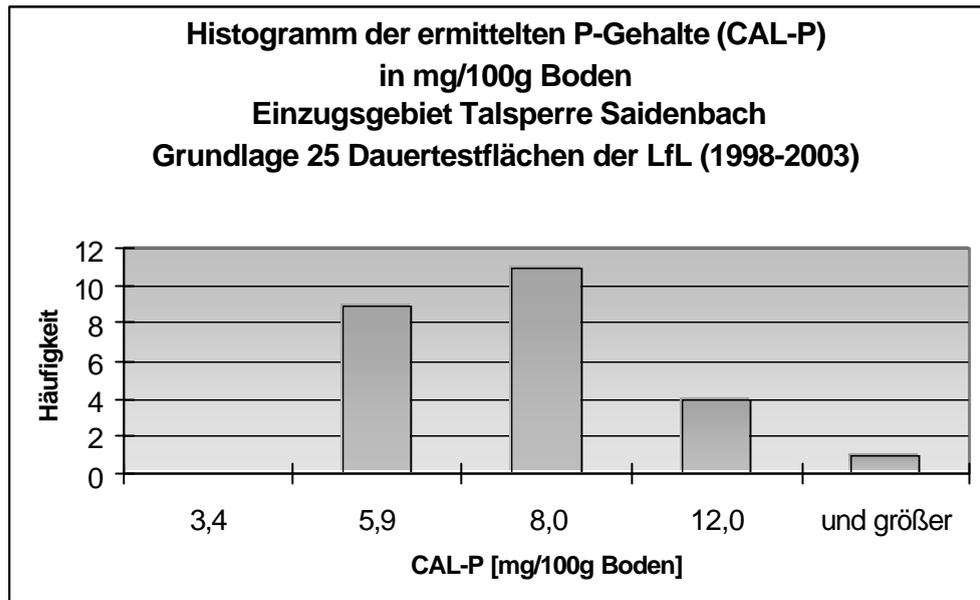


Abbildung 106: Häufigkeitsverteilung nach Nährstoffversorgungsstufen der ermittelten CAL-P-Gehalte der Dauertestflächen der LfL im Einzugsgebiet Talsperre Saidenbach

Für die Simulation der erwähnten Szenarien hinsichtlich des P-Eintrags mit EROSION 3D wurde das komplette Einzugsgebiet der Talsperre Saidenbach in sieben Teileinzugsgebiete gegliedert. Beispielhaft werden hier die Modellierungsergebnisse zum partikulären Phosphoreintrag (CAL-P) für ein typisches Referenzjahr bei einer flächendeckend konventionellen (Tabelle 26) bzw. konservierenden (Tabelle 27) Bodenbearbeitung unter den o. a. Annahmen dargestellt.

Aus der Tabelle 26 wird erkennbar, dass nach den Modellierungsergebnissen bei einer flächendeckend konventionellen Bodenbearbeitung und der Kulturart Mais jährlich ca. 176 kg partikulärer Phosphor (kalkuliert auf Grundlage der CAL-P-Gehalte der Dauertestflächen in die Talsperre eingetragen würden. Die jeweiligen Teileinzugsgebiete liefern aufgrund ihrer Größe, ihres Ackerflächenanteils sowie ihrer Erosionsgefährdung unterschiedlich große Stofffrachtenanteile. Den höchsten Anteil würde das Teileinzugsgebiet Forchheim liefern, den geringsten das Teileinzugsgebiet Vorsperre Haselbach.

Tabelle 26: Simulationsergebnisse des partikulären P-Eintrags ( $P_{CAL}$ ) für ein typisches Referenzjahr in den Teileinzugsgebieten der Talsperre Saidenbach (flächendeckend konventionelle Bodenbearbeitung)

Referenzjahr, worstcase, FK, Mais auf allen Ackerflächen / konventionell								
Name	P-Eintrag *	P-Eintrag	P-Eintrag_Summe Talsperre	P-Eintrag_Summe	$P_i$ **	$R_t$ **	$P_T$ ****	
	[kg]	[kg/ha*a]	[kg]	[kg/ha*a]	[µg/L]	[a]	[µg/L]	
Vorsperre Saidenbach	36	0,04	176	0,06	7,0	0,9	2,4	
Talsperre Saidenbach	31	0,17						
Vorbecken Forchheim	41	0,05						
Vorsperre Haselbach	9	0,05						
Dörnthalener Teich	27	0,13						
Kunstteich	10	0,04						
Vorsperre Lippersdorf	24	0,11						

\* ermittelte Sedimentfracht im Referenzjahr und durchschnittliche  $P_{CAL}$ -Konzentration von 6,7mg/100g Boden zugrundeliegend

\*\* mittlere Phosphorkonzentration aller Zuflüsse unter Berücksichtigung der Gesamt-P-Fracht und des Jahreszuflusses

\*\*\* mittlere Verweilzeit unter Berücksichtigung des Gewässervolumens und des Jahreszuflusses

\*\*\*\* abgeleitete zu erwartende Gesamt-P-Konzentration

Die Berechnung von  $P_i$ ,  $P_T$  und  $P_T$  erfolgte nach Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2001).

Tabelle 27: Simulationsergebnisse des partikulären P-Eintrags ( $P_{CAL}$ ) für ein typisches Referenzjahr in den Teileinzugsgebieten der Talsperre Saidenbach (flächendeckend konservierende Bodenbearbeitung)

Referenzjahr, bestcase, FK, Mais auf allen Ackerflächen / konservierend								
Name	P-Eintrag *	P-Eintrag	P-Eintrag_Summe Talsperre	P-Eintrag_Summe	$P_i$ **	$R_t$ **	$P_T$ ****	
	[kg]	[kg/ha*a]	[kg]	[kg/ha*a]	[µg/L]	[a]	[µg/L]	
Vorsperre Saidenbach	5	0,01	36	0,01	1,4	0,9	0,5	
Talsperre Saidenbach	19	0,10						
Vorbecken Forchheim	6	0,01						
Vorsperre Haselbach	1	0,01						
Dörnthalener Teich	4	0,02						
Kunstteich	0	0,00						
Vorsperre Lippersdorf	1	0,01						

\* ermittelte Sedimentfracht im Referenzjahr und durchschnittliche  $P_{CAL}$ -Konzentration von 6,7mg/100g Boden zugrundeliegend

\*\* mittlere Phosphorkonzentration aller Zuflüsse unter Berücksichtigung der Gesamt-P-Fracht und des Jahreszuflusses

\*\*\* mittlere Verweilzeit unter Berücksichtigung des Gewässervolumens und des Jahreszuflusses

\*\*\*\* abgeleitete zu erwartende Gesamt-P-Konzentration

Die Berechnung von  $P_i$ ,  $P_T$  und  $P_T$  erfolgte nach Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2001).

Bei einer flächendeckend konservierenden Bodenbearbeitung würden unter den gleichen Annahmen jährlich ca. 36 kg partikulärer Phosphor eingetragen werden (Tabelle 27). Auch hier liefern die verschiedenen Teileinzugsgebiete unterschiedlich hohe Stofffrachten. Durch eine konservierende Bodenbearbeitung kann der Sedimenteintrag und der daran gekoppelte partikuläre P-Eintrag in den jeweiligen Einzugsgebieten zwischen 40 - 95 % reduziert werden. Den höchsten P-Eintrag würde das Teileinzugsgebiet Talsperre Saidenbach liefern. Dies ist in dem geringen Ackeranteil (26%) und der damit verbunden geringeren potenziellen Reduktionsleistung im Vergleich zum Ausgangsszenario, begründet. Es wurden nur die partikulären P-Austräge berücksichtigt. Für die verglichenen Bodenbearbeitungsvarianten wurden dieselben P-Gehalte verwendet.

Unter Berücksichtigung des jeweiligen Ackerflächenanteils ergibt sich ein jährlicher partikulärer P-Eintrag von 0,01 bis 0,06 kg/ha\*a für die Ackerflächen im Gesamteinzugsgebiet der Talsperre Saidenbach

(Tabelle 26, Tabelle 27). Die für die Gewässerunterhaltung zuständige Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen (LTV) rechnet für ihre eigenen Bilanzierungen in Anlehnung an die LAWA-Richtlinie „Gewässerbewertung – stehende Gewässer. Vorläufige Richtlinie für die Trophieklassifikation von Talsperren“ (LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER, 2001) mit einem jährlichen P-Gesamteintrag von  $0,1 \text{ kg P/ha} \cdot \text{a}$  für Ackerflächen. In dieser Zahl sind jedoch sämtliche P-Komponenten erfasst. Unter Berücksichtigung des mittleren Jahreszuflusses zur Talsperre sowie der mittleren Verweilzeit ( $R_t$ ) ergibt sich nach LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (2001) anhand der Simulationsergebnisse (Tabelle 26, Tabelle 27) eine zu erwartende theoretische Phosphorkonzentration ( $P_{\text{T}}$ ) von  $0,5 \mu\text{g/l}$  (flächendeckend konservierende Bearbeitung) bis  $2,4 \mu\text{g/l}$  (flächendeckend konventionelle Bearbeitung). Messergebnisse der LTV zeigen für die Periode 2000 - 2001 eine P-Gesamtkonzentration in der Talsperre Saidenbach von  $11 \mu\text{g/l}$ . Dieser Wert fällt nach Klassifizierung der LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (2001) in den unteren mesotrophen Bereich. Der Trophiezustand der Talsperre Saidenbach liegt nach Angaben der LTV gegenwärtig weiter stabil in diesem Bereich.

In Ergänzung zu den P-Eintragsabschätzungen mit EROSION 3D wurden im Rahmen einer Diplomarbeit (NAUMANN, 2005) die P-Einträge als Folge von Auswaschung (unter Heranziehung der durchschnittlichen Abflussmengen der verschiedenen unterirdischen Abflusskomponenten nach DIFGA (SCHWARZE, persönliche Mitteilung, 2004) bzw. auf Grundlage von vorliegenden Daten von Drainage- und Hausbrunnenuntersuchungen), der P-Eintrag aus dem Wald und der P-Eintrag über Trennkanalisation bzw. durch kommunales Abwasser abgeschätzt. Hierzu wurden von NAUMANN (2005) je nach vorhandener Datenlage und der Bedeutung des jeweiligen P-Eintragspfades nutzungsspezifisch unterschiedliche Bilanzierungsweisen in einem Teileinzugsgebiet der Talsperre Saidenbach zur Anwendung gebracht. Aus den Ergebnissen wird erkennbar, dass der siedlungsbedingte P-Eintrag in einzelnen Teileinzugsgebieten der Talsperre Saidenbach von großer Bedeutung ist, insbesondere aufgrund der Regenwassereinleitungen über die Trennkanalisation und der geringen Anbindung der Bevölkerung an eine zentrale Abwasserentsorgung durch Kläranlagen. Die in diesem Zusammenhang von NAUMANN (2005) dokumentierten Schätzverfahren sind geeignet, die P-Einträge aus diesen Quellen für Einzugsgebiete zu quantifizieren.

### 5.5.3. Abschätzung der Stickstoffeinträge

Das aktuelle Gefährdungspotenzial der Trinkwassertalsperre Saidenbach durch Nitrat wird durch die Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen als gering eingestuft. Die Nitratkonzentration in der Talsperre ist seit 1990 kontinuierlich gefallen und liegt jetzt zwischen  $15\text{-}22 \text{ mg/l}$  (LTV, 2003). In den landwirtschaftlichen Bereichen liegt der Schwerpunkt von austragsmindernden Maßnahmen nunmehr vor allem auf dem Gebiet der Bodenerosion, der Realisierung von Fruchtfolgen mit hohem oder ganzjährigem Stickstoffzug, der Verhinderung von Einträgen von chemischen Pflanzenschutzmitteln und einer standortgerechten Bewirtschaftung von gewässersensiblen Bereichen (Uferstreifen, Feuchtgebiete) (LTV, 2003).

Grundsätzlich sind die pro Jahr bei gleicher Bewirtschaftung in das Grundwasser eingetragenen Mengen an Stickstoff abhängig von der Sickerwassermenge und aufgrund der unterschiedlichen Grundwasserflurabstände nur mit großem Aufwand einer bestimmten jährlichen Bewirtschaftung zuzuordnen. Der Nitratreintrag ist damit stark von den klimatischen und hydrologischen Bedingungen abhängig. Die Verweilzeit des Sickerwassers in der Bodenzone bzw. in der ungesättigten Zone liegt in Abhängigkeit vom Bodentyp und Grundwasserflurabstand im Allgemeinen zwischen 2 und 20 Jahren

(LANKAU et al., 2003). In den Teileinzugsgebieten der Talsperre Saidenbach wurden Verweilzeiten durch SCHWARZE et al. (1999) zwischen 18,5 bis 23 Jahren ermittelt. Daraus resultiert, dass Veränderungen der Bewirtschaftung und im Stickstoffaustrag aus den Böden im Einzugsgebiet der Talsperre Saidenbach sich beim Trockenwetterabfluss nur mit großer zeitlicher Verzögerung und Dämpfung widerspiegeln werden.

Als grobes Abschätzungsverfahren wurde in der Fallstudie Saidenbach die Berechnung der potenziellen Nitratauswaschungsgefährdung (NAG) nach BGR (2000) geprüft (Durchführung der Berechnung s. WSM300-Projektzwischenbericht 2004). Wie im Zwischenbericht ausgeführt, basiert der Kennwert NAG allein auf bodenkundlichen und klimatischen Eingangsgrößen und ist zur Ableitung quantitativer Aussagen zur Nitratauswaschung nicht geeignet. Die angebauten Kulturarten, die zu- und abgeführten Stickstoffmengen und die herbstlichen Nitratgehalte im Boden werden nicht berücksichtigt.

### 5.5.3.1 Abschätzung der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser und Berechnung des Sickerwässeranfalls

Eine Verbesserung der Abschätzung der Nitratauswaschungsgefährdung konnte durch die Auswertung der Dauertestflächen (DTF) aus dem Nitratmessnetz der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft erreicht werden. Hierzu wurde das gesamte EZG wiederum in 5 Polygone unterteilt (siehe P-Austrag), welche sich an den Teileinzugsgebieten der Talsperre orientieren. Es standen Daten der N-Bilanzen der Jahre 1993 - 2003 zur Verfügung. Die Auswertung der Daten wurde nicht getrennt nach Fruchtarten durchgeführt. Ausgehend von diesen N-Bilanzen erfolgte die Ermittlung der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser nach FREDE & DABBERT (1998). Die Ausweisung der Landnutzung erfolgte aufgrund der Auswertung von IRS-1C-Satellitenbildern. Die potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser im Mittel der Fruchtfolge lässt sich nach FREDE & DABBERT (1998) mit diesem einfachen Schätzverfahren bestimmen, das die aktuelle Bewirtschaftung hinsichtlich der Nitratauswaschungsgefahr bewertet. Die Ergebnisse sind als Schätzwerte für die langjährige mittlere Nitratkonzentration im Sickerwasser nach Verlassen des durchwurzeltten Bodens anzusehen. Um diese zu bestimmen, werden drei Angaben (siehe Formel 3) benötigt.

Die für die Berechnung des N-Auswaschungspotenzials notwendigen Kennwerte der Wasserbindung des Bodens wurden aus den Berechnungen der potenziellen Nitratauswaschungsgefährdung (NAG) übernommen. Zusätzlich wurden die Angaben zu den N-Flächenbilanzen der Jahre 1998 - 2003 (KURZER, persönliche Mitteilung, 2004) für die Dauertestflächen der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft verwendet. Diese wurden mit dem Modell REPRO berechnet. Dabei wurden eine Änderung des N-Vorrats im Boden und eine jährliche N-Immission von 30 kg/ha berücksichtigt. Durch die Verwendung von langjährigen Bilanzen können jahreszeitliche Unterschiede vernachlässigt werden.

Die Gleichung (s. nachstehende Formel 3) zur Berechnung der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser, ohne Berücksichtigung einer Netto-Mineralisation bzw. -Immobilisation und Denitrifikation im Wurzelraum (da schon bei Bilanzierung mit REPRO berücksichtigt), lautet:

$$NO_3 = [N_{bil} * AF / SW] * 4,43 * 100$$

Formel 3: Berechnung der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser

Dabei sind:

Nbil = N-Flächenbilanz [kg/ha\*a]

AF = Auswaschungsfaktor

SW = Sickerwassermenge [mm] oder [l/m<sup>2</sup>]

4,43 = Umrechnungsfaktor von Stickstoff zu Nitrat

100 = Umrechnungsfaktor

Die Sickerwassermenge wurde nach dem Verfahren von KARL (1997) berechnet. Der Auswaschungsfaktor wurde nach FREDE & DABBERT (1998) abgeleitet.

Die Methode nach KARL (1997) wurde für die Berechnung der jährlichen Sickerwassermengen (Abbildung 107) verwendet, da sich die beiden anderen geprüften Methoden als zu grob in ihren Abschätzungsalgorithmen für die vorliegende Fragestellung erwiesen.

So dient die Methode DÖRHÖFER & JOSOPAIT (1980) eher der regionalen Grundwasserplanung im Maßstabsbereich 1:200.000. Verdunstungs- und Direktabflussteile werden hier anhand einfacher Diagramme ermittelt. Für die Fallstudie Saidenbach konnten nach dieser Methode vor allem Gebiete mit einer höheren potenziellen Grundwasserneubildungsrate im Ostteil des Einzugsgebietes ausgegrenzt werden, wobei keine größeren Unterschiede zwischen geprüften Sommer- und Winterkulturen in dieser Maßstabsebene erkennbar waren. Das ebenfalls getestete Verfahren nach SOKOLLEK (1983), welches nach MENSE-STEUFAN (2004) für kleine Einzugsgebiete bis 100 km<sup>2</sup> geeignet sein soll, erwies sich als ebenfalls nicht geeignet, da zu grobe Klassifizierungsfaktoren (Gründigkeit der Böden entweder 1,5 – 3 dm oder 7–12 dm, Hangneigungen entweder <3% oder >9%) in die Berechnungen Eingang fanden.

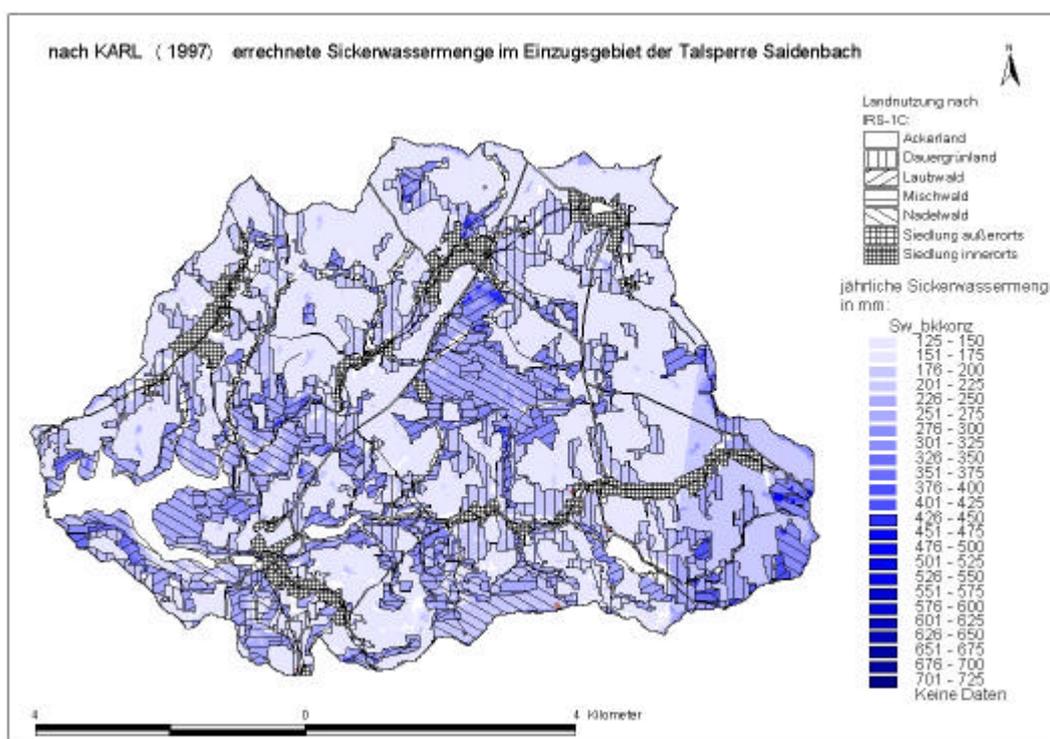


Abbildung 107: Errechnete Sickerwassermenge nach KARL (1997) im Einzugsgebiet der Talsperre Saidenbach

Weitere von der BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2000) vorgeschlagene Verfahren zur Berechnung der Grundwasserzuführung schieden aufgrund ihrer begrenzten Anwendbarkeit bezüglich der Hangneigungen und Jahresniederschlagssummen für die Fallstudie Talsperre Saidenbach aus. Im Rahmen der Methode nach KARL (1997) wird der Versickerungswert aus Verdunstung, Infiltration, Wasserdurchlässigkeit, Hangneigung und der jährlichen Niederschlagsmenge abgeleitet. In dieser Veröffentlichung sind entsprechende Tabellen (umfangreiche Literaturlauswertungen) für die Komponenten des Wasserhaushaltes aufgeführt.

Die Anteile des Oberflächenabflusses am Gesamtabfluss werden hier in Anlehnung an die Hangneigungsklassen nach DÖRHÖFER & JOSOPAIT (1980) sowie BASTIAN & SCHREIBER (1994) abgeleitet.

Die Berechnungen für die Fallstudie erfolgten in einem 20 m Raster und unter Annahme mittlerer Lagerungsdichten für das gesamte Einzugsgebiet. Aus der Abbildung 107 sind höhere Sickerwassermengen von Wald > Grünland > Acker erkennbar. Größere Unterschiede in der Grundwasserzuführung innerhalb der Ackerflächen sind nicht erkennbar. Unterschiede ergeben sich außer durch die Landnutzungsunterscheidung (Wald/Acker) aufgrund der Niederschlagspolygone.

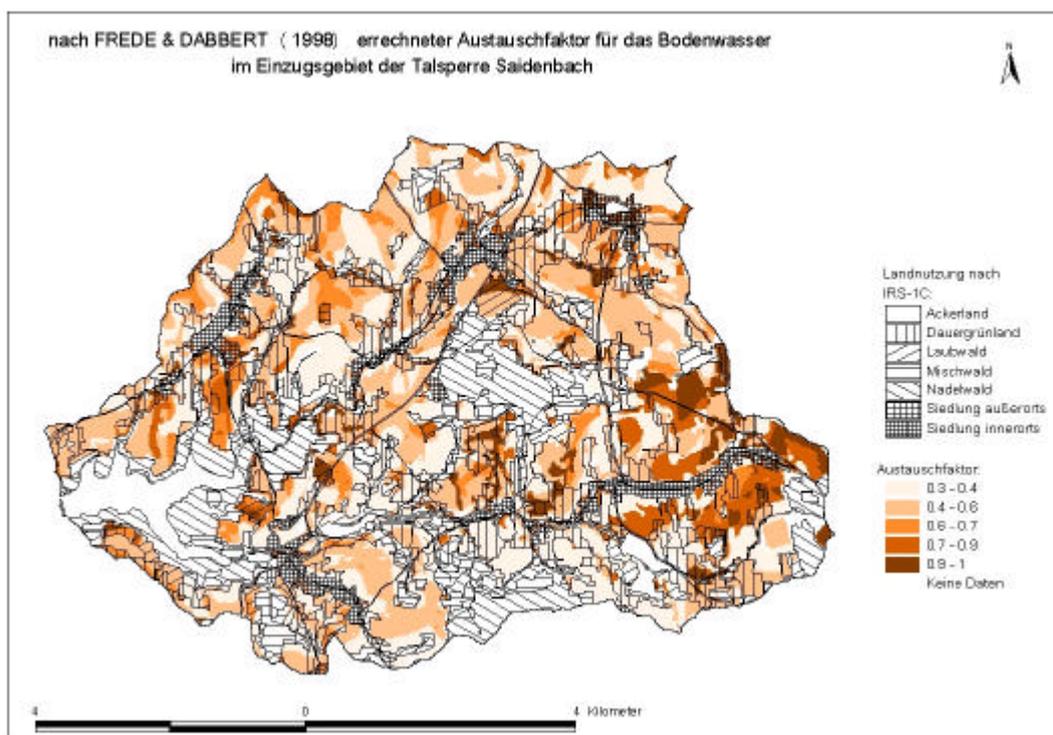


Abbildung 108: Errechneter Austauschfaktor für das Bodenwasser nach FREDE & DABBERT (1998) für das Einzugsgebiet Talsperre Saidenbach

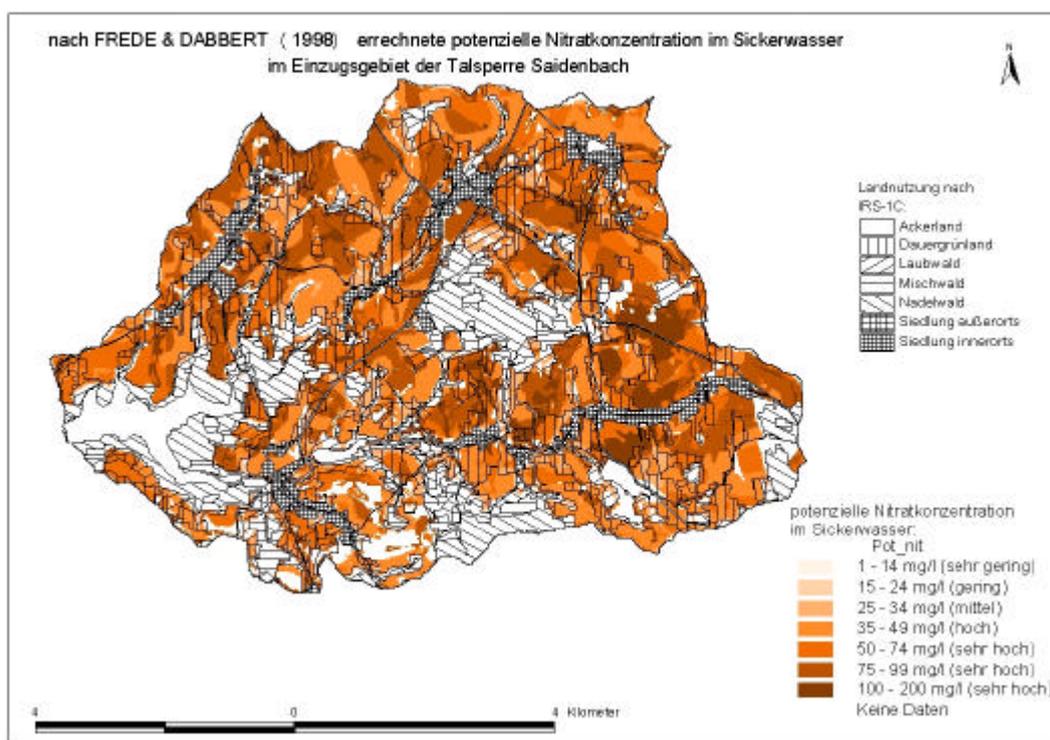


Abbildung 109: Errechnete potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser nach FREDE & DABBERT (1998)

Die Austauschhäufigkeit (in %) des Bodenwassers errechnet sich aus der jährlichen Sickerwassermenge und der Feldkapazität im durchwurzelten Boden ( $FK_{We}$ ). Die  $FK_{We}$  wurde anhand der MMK abgeleitet. Dabei konnten keine vertikalen Wechsel der Bodenarten berücksichtigt werden, da die MMK nur eine oder mehrere Bodenartengruppen für eine komplette Tiefe von 10 dm ausweist. Austauschhäufigkeiten unter 100 % geben an, dass das Bodenwasser im Jahresdurchschnitt nicht komplett ausgetauscht wird. Je höher die Austauschhäufigkeit ist, desto größer ist die Auswaschungswahrscheinlichkeit von Nitrat. Der Austauschfaktor (Formel 3, Abbildung 108) entspricht dem Relativwert der Austauschhäufigkeit, wobei Werte > 100 % gleich 1 gesetzt werden.

Anhand der berechneten Sickerwassermengen (Abbildung 107) und des ermittelten Austauschfaktors (Abbildung 108) ergibt sich unter Einbeziehung des mittleren Bilanzsaldos die potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser (Abbildung 109).

Die berechneten Nitrat-Konzentrationen im Sickerwasser sind nicht mit den realen Nitratkonzentrationen des neu gebildeten Grundwassers zu vergleichen (FREDE & DABBERT, 1998). Zwischen dem durchwurzelten Boden und der Grundwasserschicht kann Nitrat im Sickerwasser denitrifiziert werden. Auf Grund der ungleichen räumlichen Verteilung der Dauertestflächen liegen zu wenige Messwerte vor, um die Auswertung auf der Ebene von Teileinzugsgebieten mit unterschiedlichen Bilanzsalden durchzuführen. Deshalb wurde für das gesamte Einzugsgebiet ein einheitliches N-Bilanzsaldo von  $+44 \text{ kg/ha} \cdot \text{a}$  angenommen. Dieses Bilanzsaldo bezieht sich nur auf Ackerflächen über alle Kulturarten hinweg. Somit spiegeln die dargestellten Unterschiede in der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser ausschließlich Unterschiede in den Bodenartengruppen, vor allem im Austauschfaktor des Bodenwassers, wider. Die Niederschlagsunterschiede (Thiessen-Polygone) und Sickerwassermengenunterschiede bewirken geringe Niveauunterschiede. Ausgehend von der Abbildung

sind vor allem im Ostteil des Einzugsgebietes potenziell höhere bis sehr hohe Nitratkonzentrationen im Sickerwasser zu erwarten. Ausgehend von den Nitrat-Messwerten der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen in der Talsperre kann das verwendete Verfahren nur zur groben Abschätzung des Nitrataustrags in gefährdeten Gebieten verwendet werden.

Die Berechnung witterungsunabhängiger  $N_{\min}$ -Trends nach SCHWEIGERT (1998) ist im Projektzwischenbericht 2004 sowie in der Schriftenreihe der LfL dargestellt, so dass hier nicht weiter darauf eingegangen werden soll.

### 5.5.3.2 Modellierung mit dem Stoffhaushaltsmodell SWAT im Teileinzugsgebiet Hölzelbergbach

Im Rahmen einer Diplomarbeit (KACIREK, 2005) wurde im Einzugsgebiet Hölzelbergbach, einem Teileinzugsgebiet der Saidenbachtalsperre, das Wasser- und Stoffhaushaltsmodell SWAT (Soil and Water Assessment Tool) zur Beschreibung des Wasser- und Stickstoffhaushalts zum Einsatz gebracht. Anhand der dabei gewonnenen Ergebnisse sowie der vorgenommenen Bewertung und Unschärfeanalyse kann die Aussage getroffen werden, dass SWAT unter Anwendung des Infiltrationsansatzes von GREEN & AMPT (1911) prinzipiell ein geeignetes Methodenwerkzeug für die Beschreibung diffuser Stickstoffeinträge in die Oberflächengewässer in kleinen bis mittleren Mittelgebirgseinzugsgebieten ist. So ist das Modell SWAT in der Lage, das maßgeblich durch die Gebieteigenschaften determinierte Abflusskomponentenregime sowie das daran gekoppelte Nitrat-N-Austragsverhalten realitätsnah nachzubilden. Die Analyse der Ergebnisse konnte wesentliche Defizite hinsichtlich der Datengrundlagen sowie der Untersuchungsmethodik herausstellen. Die Auswertung von mittleren Jahres- und mittleren Monatsbilanzen erwies sich hierbei als besonders zweckdienlich. Für weiterführende Modellierungen mit SWAT sollten folgende Bedingungen erfüllt sein (KACIREK, 2005):

- Verfügbarkeit von Untersuchungsreihen von mindestens 15 Jahren,
- Verwendung konsistenter und homogener Abflussdaten sowie repräsentativer hydrometeorologischer Daten,
- Einbeziehung detaillierter Drainagepläne und
- Verwendung von Bodendaten mit vertikaler Differenzierung und möglichst exakte Erfassung bodenphysikalischer und –chemischer Kennwerte.

## 5.6. Maßnahmenkatalog

Für das Wasser- und Stoffstrommanagement in einem Einzugsgebiet steht eine große Anzahl von betrieblichen und strukturellen Maßnahmen zur Verfügung. Für die Erleichterung der Kommunikation (z.B. innerhalb eines „Gewässerbeirats/ -gremiums“) sowie für die Entscheidungsfindung im Bereich Landwirtschaft bei der Erstellung von Bewirtschaftungsplänen und Maßnahmenprogrammen (z.B. entsprechend den Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie) wurde die Computer gestützte „Maßnahmendatenbank Gewässer- und Bodenschutz“ aufgebaut. Die Einrichtung der Datenbank wurde auf der Basis von MS ACCESS® durchgeführt. Zur zukünftigen Nutzung wurde eine Anleitung zur Handhabung der Funktionen verfasst.

Das Kernstück der Datenbank als wesentliche Arbeits erleichterung für den Anwender ist die Möglichkeit der Suche nach einer geeigneten Maßnahme über verschiedene Suchkriterien (u. a.

Themenschwerpunkte (z.B. Erosion), Schlagworte (z.B. konservierende Bodenbearbeitung). Akzeptanzlevel, Wirksamkeitslevel und der Kostenbereich für die Einführungskosten sind ebenfalls implementiert. Weitere Informationen können zu Kontaktpersonen, Förderhilfen, Rechtsgrundlagen, Literatur- und Internetquellen eingegeben werden. Zurzeit sind 57 Einzelmaßnahmen aus dem Bereich Landwirtschaft abrufbar. Diese sind unterteilt in die Bereiche Erosionsschutz, Bodengefügeschutz, Nährstoffaustragsminderung und Pflanzenschutz.

Über die beschriebene Suchfunktion erhält der Anwender ein Übersichtsdatenblatt (Abbildung 112) mit Informationen z.B. zum Inhalt und den Auswirkungen der Maßnahme, Probleme, Anwendungsdauer, kostensteigernde und kostensenkende Faktoren, Besonderheiten sowie Literatur- und Internetquellen zur ausgewählten Maßnahme.

Der Projektpartner IPS GmbH hat für den Bereich der Siedlungswasserwirtschaft ebenfalls einen Maßnahmenkatalog in ähnlicher Form, jedoch HTML-basiert, entwickelt. Beide Datenbanken wurden vom Projektpartner IPS GmbH über die Software XOOPS in eine gemeinsame MySQL – Datenbank (Abbildung 113) zusammengeführt. Zukünftig soll eine Pflege der gemeinsamen Datenbank (Siedlungswasserwirtschaft, Landwirtschaft) über das Internet durch ODBC (Open DataBase Connectivity) möglich sein.

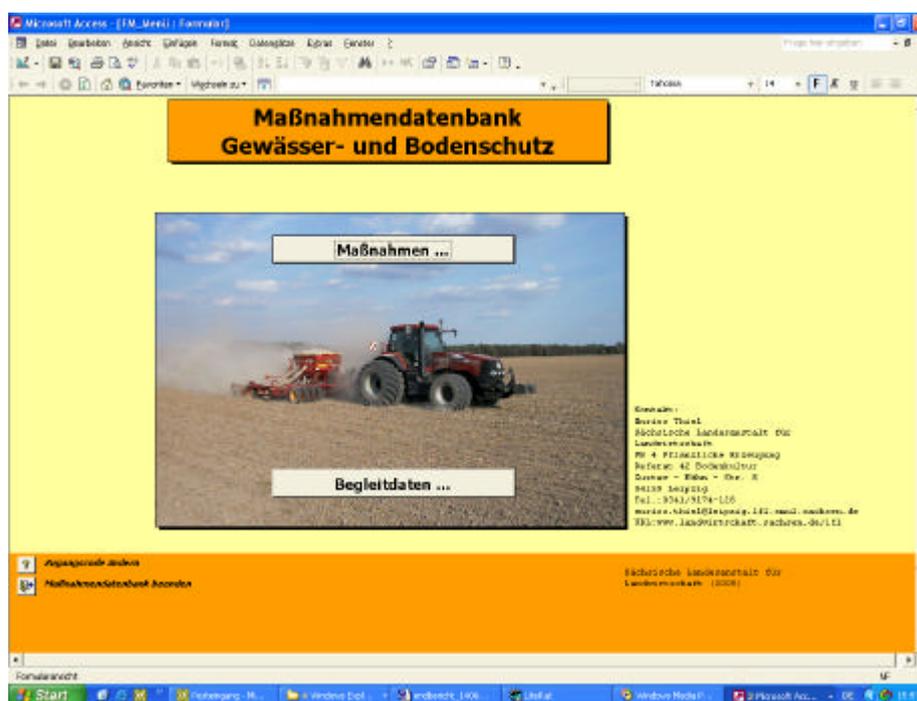


Abbildung 110: Startmaske der Maßnahmendatenbank „Gewässer- und Bodenschutz“

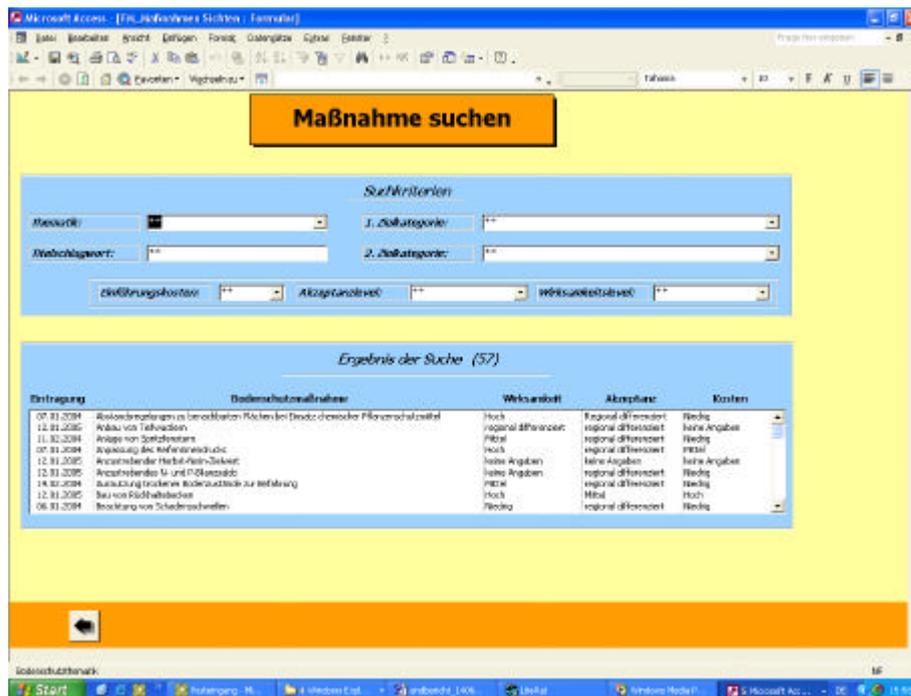


Abbildung 111: Suchmaske der Maßnahmendatenbank „Gewässer- und Bodenschutz“

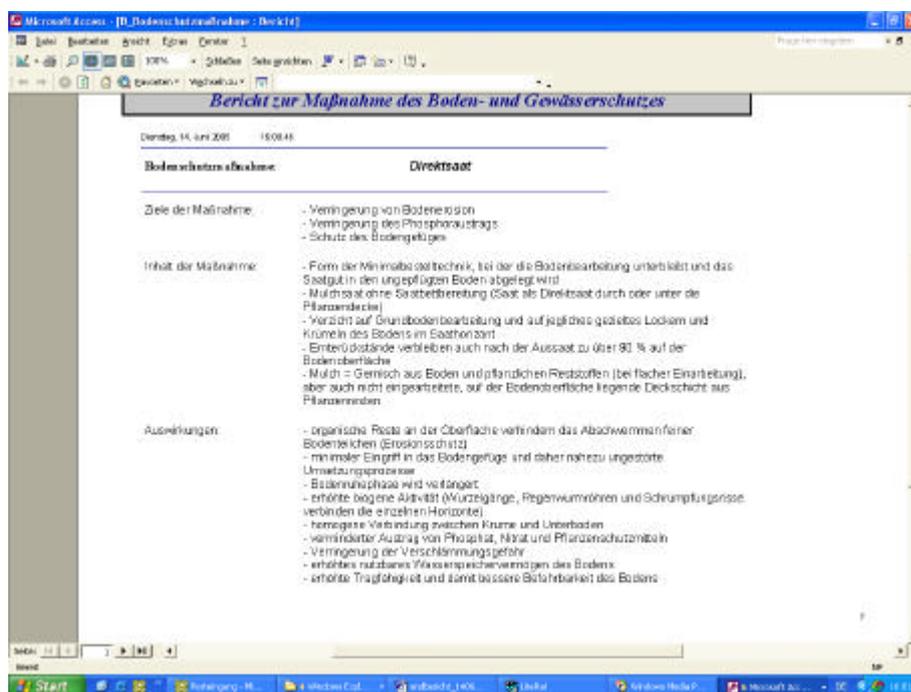


Abbildung 112: Beispiel für einen Ergebnisbericht (Maßnahme Direktsaat) aus der Maßnahmendatenbank „Gewässer- und Bodenschutz“

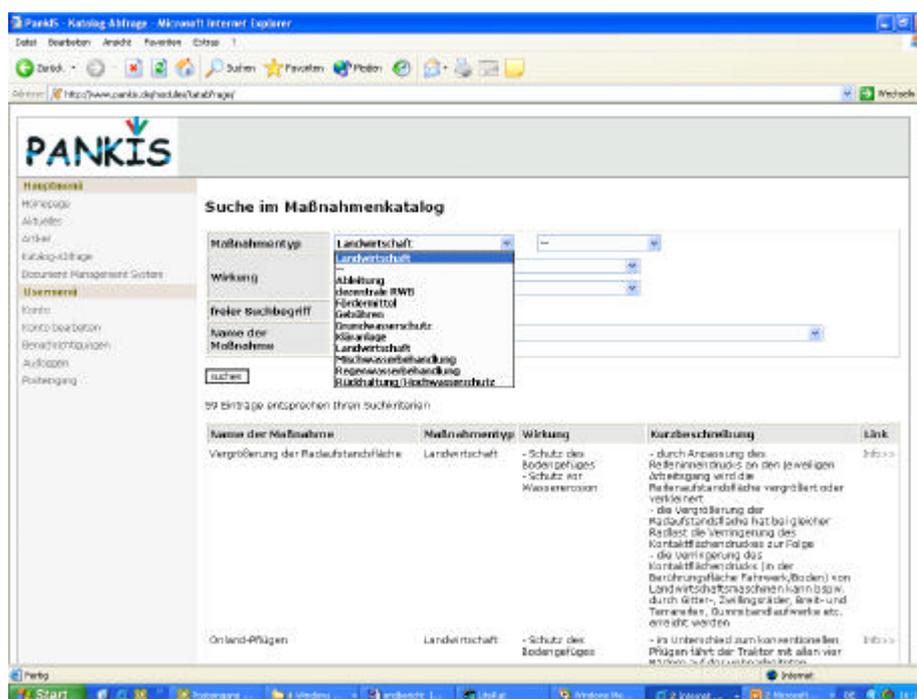


Abbildung 113: Gemeinsamer Maßnahmenkatalog (Landwirtschaft, Siedlungswasserwirtschaft) in der Online-Version

## 5.7. Internetgestütztes Informationsportal (Web-GIS)

Ein großes Defizit im Sinne eines Einzugsgebietsmanagements bildet in vielen Gewässereinzugsgebieten der fehlende Überblick über Datenausprägungen und deren Verfügbarkeiten sowie über bereits vorhandene Modellierungsergebnisse. Im Rahmen der Einbindung und Zusammenführung von Entscheidungsträgern über administrative Grenzen hinweg, zur Information über die räumliche und thematische Ausprägung des Datenbestandes sowie im Sinne einer umfassenden Öffentlichkeitsarbeit und Akzeptanz- sowie Diskussionsförderung der vorher simulierten Maßnahmen wurde für die Fallstudie Trinkwassertalsperre Saidenbach ein GIS-gestütztes Internetinformationssystem eingerichtet. Bei der verwendeten Software ArcIMS<sup>®</sup> handelt es sich um ein Web Mapping System, mit dem Geodaten in Form digitaler Karten und interaktiver Anwendungen zentral aufbereitet und für andere Nutzer über das Intranet und Internet zugänglich gemacht werden können (ESRI, 2003).

Bei der ArcIMS-Architektur sind Anpassungen auf allen Ebenen möglich. Auf der Anwenderebene kann die Benutzeroberfläche und die Bedienung des Viewers mit eigenem HTML-Code und JavaScript geändert werden. Zudem kann auf Serverebene die Kartenkonfiguration mittels ArcXML modifiziert werden (Änderung der Datenprojektion, Änderung der Darstellung von Kartenelementen usw.). Ferner steht einem Anwender prinzipiell die Möglichkeit offen, Daten von beliebigen ArcIMS-Websites und lokalen PCs in einer Karte zu kombinieren. ArcIMS unterstützt HTML- wie auch Java Viewer. Der HTML Viewer braucht JavaScript und Dynamic HTML (DHTML), der Java Viewer hingegen ist nur kompatibel mit Web-Browsern, die Java Plugin-Funktionalitäten unterstützen. Um sich für einen HTML- oder einen Java Viewer zu entscheiden, sollte ermittelt werden, ob die Applikation hauptsächlich eine Betrachtungs-

und Abfrage-Anwendung ist oder ob der Nutzer spezielle Funktionen und auch eigene Daten nutzen möchte.

Dabei ist der HTML-Viewer im Gebrauch am effizientesten wenn:

- die Applikation eine Vielzahl von Browsern unterstützen soll,
- Zusatzprogrammmodule nicht erlaubt sind,
- man weniger clientseitige Prozesse haben möchte,
- nur Betrachtungen und Abfragen notwendig sind.
- Der Java Viewer ist hingegen im Gebrauch am effizientesten wenn:
  - Plugins akzeptabel sind,
  - der Client lokal Prozesse abhandeln soll,
  - der Nutzer intensive Interaktionen und Analysen mit der Karte fordert.

Der HTML-Viewer ist ein einfacher und schnell einsetzbarer ArcIMS-Viewer. Mit einem leistungsfähigen Set an GIS-Werkzeugen interagiert man mit Karten, Abfragemasken und Ergebnisfenstern. Obwohl der HTML-Viewer zu den weniger umfangreichen Anwendungen zählt, ist er doch hochgradig anpassungsfähig und besitzt die höchste Browserkompatibilität. Aus diesen Gründen wurde der HTML-Viewer im Web-GIS der Fallstudie Talsperre Saidenbach eingesetzt.

Folgende Informationen werden gegenwärtig über das Web-GIS der Fallstudie dargestellt (Abbildung 114, Abbildung 115):

- Lage des Einzugsgebietes in Sachsen,
- administrative Gliederung im Einzugsgebiet,
- bodenkundliche Informationen,
- Abgrenzung der Teileinzugsgebiete und der Vorfluter,
- abgeleitete klimatologische Daten,
- abgeleitete Reliefeigenschaften,
- Landnutzung im Einzugsgebiet,
- Vorstellung von Modellierungsergebnissen.

Der Viewer (Abbildung 114) funktioniert auf allen Windows Rechnern (95/98/ME/NT/2000/XP) mit dem Internet Explorer ab Version 4.01, dem Netscape Communicator ab Version 4.5 oder Mozilla ab Version 1.0. Je nach Schnelligkeit der Internetanbindung dauert es einige Zeit bis die Anwendung geladen ist (ISDN ca. 15 - 25 Sek.). Die Datenmenge, die vom Server auf den anfragenden Rechner übertragen wird, ist abhängig von der Größe des Kartenfensters. Auf Anwenderseite ist zur Nutzung der Map Services keine eigene GIS-Software nötig.

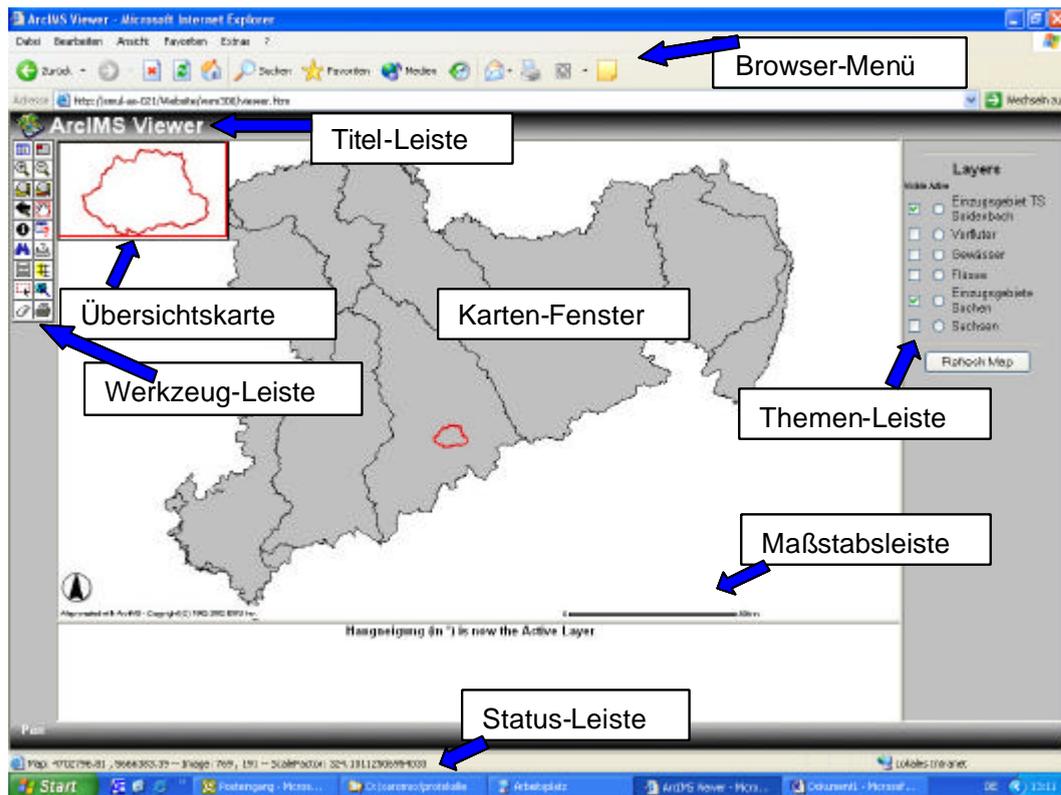


Abbildung 114: Version des HTML-Viewers in der Fallstudie Talsperre Saidenbach

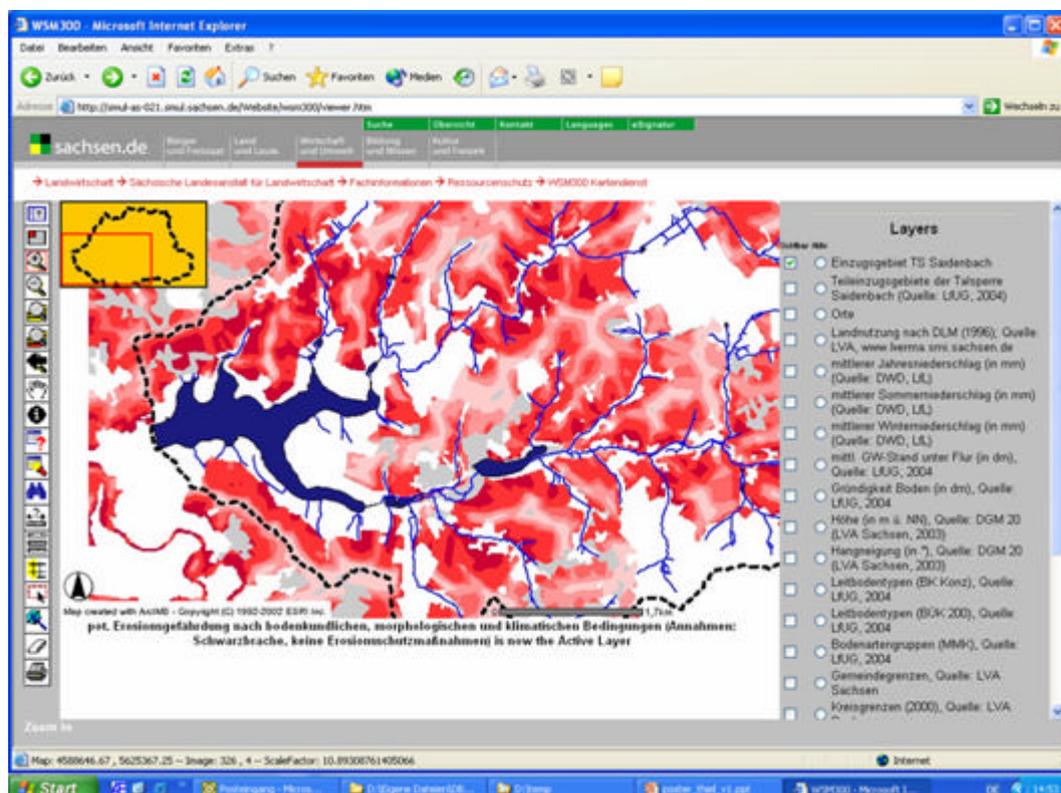


Abbildung 115: Beispielhafte Darstellung der Modellierungsergebnisse im Web-GIS

Man benötigt lediglich einen Standard-Internet-Browser. Für die Nutzung fallen keine Kosten an. Unter dem nachstehenden Link ist das Web-GIS für die Fallstudie Talsperre Saidenbach im Internet verfügbar: <http://www.smul.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfi/Fachinformationen/Ressourcenschutz/1114.htm>

Im Web-GIS der Fallstudie Talsperre Saidenbach sind beispielhaft die Simulationsergebnisse (Abbildung 115) für ein 20-jährliches Extremniederschlagsereignis bei flächendeckend konventioneller bzw. konservierender Bodenbearbeitung (Niederschlagsereignis Anfang Mai, Kulturen im Saatbettzustand, Bodenfeuchte entsprechend Feldkapazität, 10 m-Raster) dargestellt. Die Darstellungen in Kartenform dienen ausschließlich der Information. Sie bilden keine rechtliche Grundlage für Sachverhalte jeder Art. Der Nutzer (z.B. Landwirt) hat hier die Möglichkeit, sich über die Erosionsrisiken seiner Flächen zu informieren. Des Weiteren können Auswirkungen von diskutierten Maßnahmen, z.B. die Anlage von Gewässerrandstreifen, über die Pufferfunktion des Web-GIS transparent abgeschätzt werden.

Probleme ergaben sich bei der Darstellung der Modellierungsergebnisse (Rasterformat) im Web-GIS. Zum einen bestand die Möglichkeit, die Simulationsergebnisse in ein georeferenziertes Image-Format umzuwandeln. Hierdurch würden aber die erstellten Legenden und die interaktive Abfragefunktionalität (z.B. das Aufzeigen von Erosionsbereichen in der Spanne von  $x \text{ t/ha}$ ) verloren gehen. Durch die Umwandlung der Rasterdaten in Vektordaten konnte die Abfragefunktionalität erhalten werden (Abbildung 115). Jedoch musste der Abbildungsmaßstab aus Gründen der Darstellung, der Geschwindigkeit und Sinnhaftigkeit der Aussagen hierfür begrenzt werden. Da die Legende aus dem Desktop-GIS nicht direkt in das Web-GIS übernommen werden konnte, musste umfangreich nacheditiert werden.

Es bleibt festzuhalten, dass sich die verwendete Software durch reduzierte Kosten und einen geringeren Einrichtungsaufwand auf der Nutzerseite, die Zugänglichkeit für die breite Öffentlichkeit, die zentrale Aktualisierung der Daten, den sofortigen Zugriff für alle Nutzer, die Nutzung eines Standards des Open GIS Konsortiums sowie die Möglichkeit der Lastverteilung der Datenverarbeitung auf Client und Server auszeichnet. Demgegenüber stehen die Nachteile beschränkter Funktionsumfang durch spezialisierte Ausrichtung, die Sicherheitsrisiken durch Haltung der Daten auf Servern sowie die Geschwindigkeitsabhängigkeit von der Menge der zu transportierenden Daten. Durch diese neue Form der interaktiven Verwendung von Karten lassen sich aber auch Nutzergruppen einbinden, welche vorher nicht an diesen Darstellungen interessiert waren.

In Bezug auf die Zukunft von WebGIS-Systemen lässt sich festhalten, dass noch längst nicht alle GIS-Funktionen im Internet verfügbar sind und große Unterschiede der Systeme hinsichtlich der Anwenderanforderungen, der Funktionen, der Technologie sowie der Kosten bestehen. Diese Technologie bietet aber Voraussetzungen dafür, dieses Werkzeug zukünftig zur Steigerung der Akzeptanz von Maßnahmen, im Sinne des Gewässerschutzes, durch mehr Transparenz zu nutzen. In Kombination bilden die verwendeten Werkzeuge (geeignetes Simulationsmodell, Web-GIS) einen wichtigen Baustein für den Moderationsprozess im Sinne der Erarbeitung von Maßnahmenprogrammen, z.B. zum Erreichen der Ziele der EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL). Auch könnte die verwendete Software weitere Verwendung in der Officialberatung von Landwirten durch die LfL im Hinblick auf den Boden- und Erosionsschutz finden.

## 5.8. Bewertungsmatrix

Strategien zur Lösung komplexer Probleme (z.B. Bewirtschaftungsplan für ein Gewässereinzugsgebiet) verfolgen in aller Regel nicht lediglich die Verbesserung einer Situation im Hinblick auf ein einzelnes Ziel. Es wird vielmehr eine Verbesserung für mehrere Ziele gleichzeitig beabsichtigt. Häufig steht ein Teil dieser Ziele in Konflikt miteinander, so dass Vorteile im Hinblick auf einen Zielbereich mit Nachteilen in einem anderen Zielbereich einhergehen können. Im Rahmen des Projektes WSM300 wurden zur Lösung dieses Problems formalisierte multikriterielle Entscheidungshilfungsverfahren zur Anwendung gebracht. Dadurch kann durch die Zerlegung des Problemfeldes in mehrere Teilprobleme sowie die Strukturierung der relevanten Informationen über das Problem und der subjektiven Erwartungen auf Seiten der Akteure die Ermittlung der bevorzugten Lösung erleichtert werden. Vor allem aber kann damit versucht werden, einen Lösungsweg transparent und nachvollziehbar zu machen.

Tabelle 28: Beispielhafte Entscheidungsmatrix mit ermittelten Werten für ein 10-jährliches Extremniederschlagsereignis im Teileinzugsgebiet Vorsperre Saidenbach (Abkürzungen s. Tabelle 29)

Vorsperre Saidenbach	Szenario Schlaggröße Förderung - UL**	kv	ks	kv_gr	ks_gr	kv_gw	ks_gw	kv_k	ks_k
		10 ha	10 ha	5 ha	5 ha	5 ha	5 ha	5 ha	5 ha
		ZF	ZF/MF	ZF/NAK	ZF/MF/NAK	ZF/NAK	ZF/MF/NAK	ZF/NAK	ZF/MF/NAK
Zielvariable	Einheit	Entscheidungsmatrix							
P-Fracht	[kg]	2114	192	2413	202	1996	191	2134	193
Fläche	[%]	0	0	1,4	0,1	5,8	1,0	7,0	1,1
Abfluß	[l*m <sup>2</sup> ]	5,5	2,4	5,4	2,4	5,1	2,4	5,0	2,4
VF*	[€]	497	470	480	454	480	454	480	454
VF_F**	[%]	0,0	2,9	-2,4	0,7	0,5	3,7	1,3	4,4

\* Berechnungen LfL, FB 03, def. Annahmen

\*\* mit Einbezug der Förderung nach UL (Stand 12/2004)

Tabelle 29: In der Entscheidungsmatrix (Tabelle 28) verwendete Abkürzungen

Abkürzung	Erläuterung
kv	konventionell
ks	konservierend
kv_gr	konventionell mit Grünstreifen
ks_gr	konservierend mit Grünstreifen
kv_gw	konventionell mit grassed waterways
ks_gw	konservierend mit grassed waterways
kv_k	konventionell mit Kombination Grünstreifen und grassed waterways
ks_k	konservierend mit Kombination Grünstreifen und grassed waterways
VF	verfahrenskostenfreie Leistung
VF_F	verfahrenskostenfreie Leistung mit Förderung UL-Programm
ZF	Förderung des Zwischenfruchtanbaus
MF	Förderung von Mulchsaat im Frühjahr und vorherigem Zwischenfruchtanbau
NAK	Förderung des Grünstreifens als Stillungsfläche über NAK
Fläche	für die Maßnahme (z.B. Grünstreifen) aus der Ackernutzung genommene Fläche

Die Nutzwertanalyse (NWA) bietet sich als systematische Entscheidungsvorbereitung einer transparenten nachvollziehbaren Planung an. Durch den theoretischen Aufbau der NWA wird der Planer, das

Entscheidungsgremium, der Gewässerbeirat etc. gezwungen, das Ziel seiner Planung und die individuelle Gewichtung der Zielvariablen und Folgewirkungen klarzustellen (MARTENS, 2004). Die NWA wurde in der Fallstudie Saidenbach beispielhaft für die Aufbereitung der simulierten und in den vorangegangenen Kapiteln erläuterten Werte (Sedimentfracht, Phosphorfracht, Kosten etc.) für ein 10-jährliches Extremniederschlagsszenarium für das Teileinzugsgebiet Vorsperre Saidenbach verwendet.

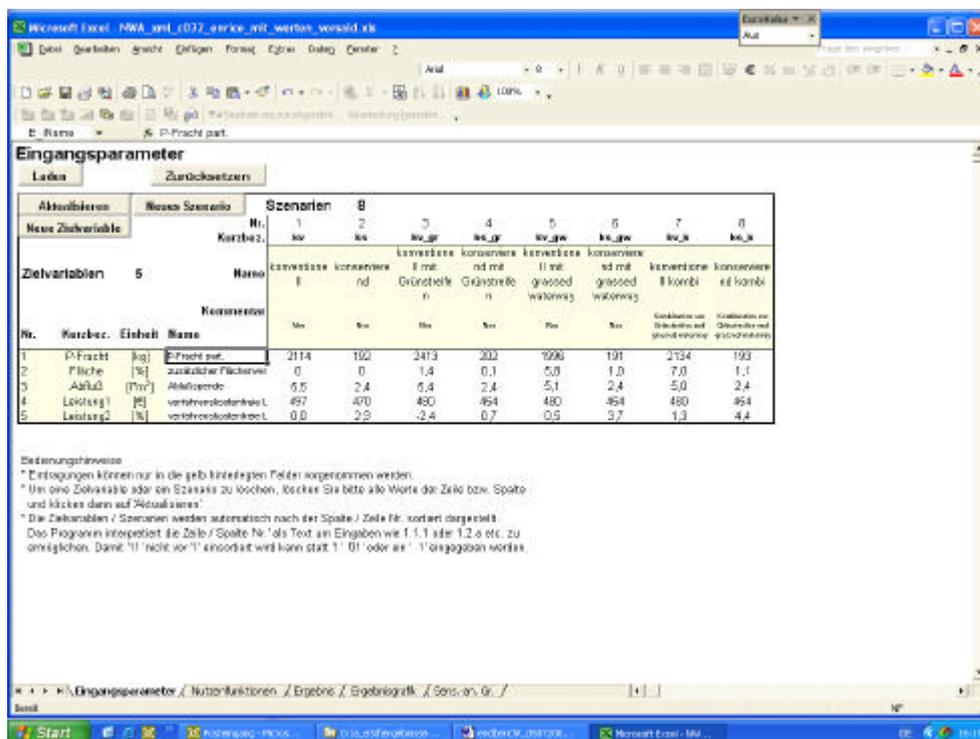


Abbildung 116: Einlesen der in Tabelle 6 erstellten Entscheidungsmatrix in die Nutzwertanalyse

Die in Tabelle 28 dargestellte Entscheidungsmatrix für das Teileinzugsgebiet Vorsperre Saidenbach verdeutlicht, dass hier die Wahl des optimalen Bewirtschaftungsszenarios für ungeübte Nutzer schwer fällt. Besonders schwierig gestaltet sich in einem solchen Fall der Prozess der transparenten und für die verschiedenen Interessengruppen nachvollziehbaren Entscheidungsfindung. Die Erstellung einer Rangliste der Szenarien kann z.B. durch Transformation des Zielertrags in eine einheitliche Bewertungsgröße erfolgen (z.B. durch die Nutzwertanalyse, NWA). In der Abbildung 116 ist die in die Excel-Anwendung „Nutzwertanalyse“ eingelesene Entscheidungsmatrix dargestellt.

Weil im Allgemeinen die (z.B. simulierten) Werte der zu prüfenden Szenarien bezüglich der verschiedenen Zielvariablen in unterschiedlichen Maßeinheiten gemessen werden, müssen die Bewertungen der Wirkungen in eine einheitliche Maßeinheit (Nutzen einer Maßnahme) übersetzt werden. Der Nutzen selbst besitzt keine physische Einheit, sondern stellt eine Transformation der Bewertungen in eine einheitliche Einheit mit vorgegebener Spannweite dar. Bei dieser Methode werden vorher definierte Nutzenfunktionen (Abbildung 117) genutzt, mit deren Hilfe jedem Zielgrößenwert ein Nutzwert zwischen 0 und 1 zugewiesen wird. Die Definition der Nutzenfunktionen erfolgte vorerst linear unter Berücksichtigung der Spannweiten der in der Entscheidungsmatrix verwendeten Zielvariablen. Die Ausprägung der einzelnen Nutzenfunktionen hängt von den formulierten Zielen ab und ist fallweise zu diskutieren.

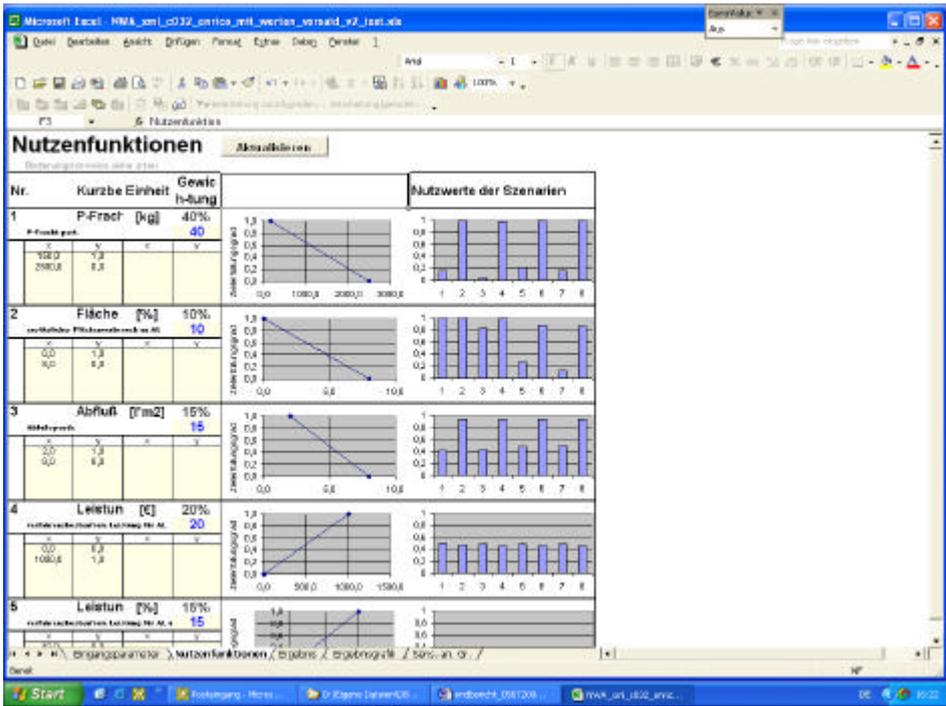


Abbildung 117: Definition der Nutzenfunktionen für die verwendete Entscheidungsmatrix

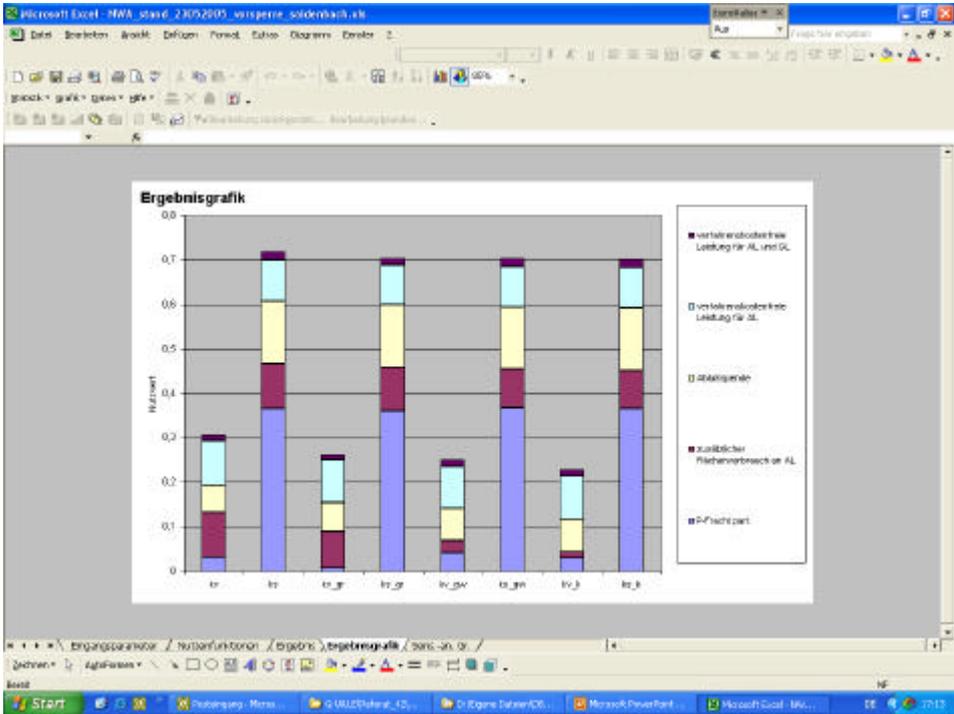


Abbildung 118: Die Nutzwerte der einzelnen Szenarien (Erläuterung der Abkürzungen s. Tabelle 29)

Bei der Nutzwertanalyse erfolgt die Bewertung zuerst für jedes Ziel einzeln. Anschließend werden die Einzelbewertungen zu einer Gesamtbewertung zusammengefasst. Die Nutzwerte der einzelnen Zielvariablen werden mit den jeweiligen vom Nutzer vorgegebenen Gewichtungen der Zielvariablen multipliziert und zum Gesamtnutzwert (Abbildung 118) addiert. Die Säulen repräsentieren den Gesamtnutzwert der einzelnen Szenarien, die einzelnen Sektoren stellen den Nutzwert einer einzelnen Zielvariable (z.B. Sedimenteintrag, Kosten), multipliziert mit ihrem Gewicht, dar. Auch die Gewichtung der einzelnen Zielvariablen hängt von den formulierten Zielen ab und ist fallweise zu diskutieren.

Aus der Abbildung 118 wird erkennbar, dass aufgrund der in Tabelle 28 ermittelten Werte und der gewählten Gewichtungen (P-Fracht 40 %, Flächenverbrauch 10 %, Abfluss 15 %, verfahrenskostenfreie Leistung ohne Förderung (VF) 20 %, verfahrenskostenfreie Leistung mit Förderung (VF\_F) 15 %) das Szenario konservierende Bodenbearbeitung als Vorzugsszenario in Frage käme. Im Vergleich zu den anderen Varianten macht sich vor allem die höhere verfahrenskostenfreie Leistung ohne Förderung bemerkbar. Durch eine in das Excel-Werkzeug „Nutzwertanalyse“ integrierte Funktion für eine Sensitivitätsanalyse kann einem Nutzerkreis, Entscheidungsgremium etc. transparent der Einfluss einer unterschiedlichen Gewichtung der Teilziele demonstriert werden. Dadurch kann auch vermittelt werden, dass ein bestimmtes Szenario nie zum Vorzugsszenario werden kann, wenn die in der Entscheidungsmatrix ermittelten Werte im Hinblick auf eine oder mehrere Zielvariablen zu ungünstig sind. Selbst eine hohe Gewichtung würde hier dann aussichtslos sein. Rein subjektiven Entscheidungen kann so begegnet werden. Weitere beispielhafte Anwendungen in der Wasserwirtschaft bzw. im Sinne eines Flussgebietsmanagements von multikriteriellen Analyseverfahren finden sich u. a. in RODE (2001), MARTENS (2004), SCHNECK et al. (2004).

## 5.9. Verbreitung und Materialien

### 5.9.1. Durchgeführte Veranstaltungen und Vorträge

#### 5.9.1.1 Veranstaltungen mit der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU)

21.11.2002	Darstellung des Sachstandes (1. Projektbeirat ssitzung, Osnabrück)
05.06.2003	Darstellung des Sachstandes (Projektevaluierung, Berlin)
24.11.2004	Darstellung des Sachstandes (2. Projektbeirat ssitzung, Leipzig)
30.06./01.07.2005	Abschlusskongress zum Projektverbund (DBU - Osnabrück)

#### 5.9.1.2 Veranstaltungen für die Entscheider im Einzugsgebiet der Talsperre Saidenbach

20.05.2003	1. Arbeitstreffen (Darstellung des Sachstandes, Pirna)
------------	--

- 27.02.2004            2. Arbeitstreffen (Darstellung des Sachstandes, Leipzig)
- 10.05.2005            3. Arbeitstreffen (Abschlusspräsentation, Lengefeld)

### 5.9.1.3    Veranstaltungen innerhalb der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)

- 27.05.2003            Interne Veranstaltung (Darstellung des Projektsachstandes)
- 10.11.2003            Interne Veranstaltung (Darstellung des Projektsachstandes)
- 09.11.2004            Vortrag zum Thema „Einzugsgebietsbezogene Abschätzung der Sediment und partikelgebundenen Phosphorfrachten von landwirtschaftlichen Nutzflächen mit Hilfe des Modells EROSION 3D, Beispiel Talsperre Saidenbach“ im Rahmen der Tagung „Landwirtschaftlicher Bodenschutz“ der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft
- 30.11.2004            Interne Veranstaltung (Darstellung des Sachstandes)
- 25.05.2005            Interne Veranstaltung (Abschlussverteidigung)
- 27.05.2005            Abschlusspräsentation vor der AG GIS der LfL

### 5.9.1.4    Externe Veranstaltungen

- 03.03.2005            Vortrag zum Thema „Einzugsgebietsbezogene Abschätzung der Sediment und partikelgebundenen Phosphorfrachten von landwirtschaftlichen Nutzflächen Beispiel Talsperre Saidenbach“, auf der Beratungsveranstaltung „Landwirtschaftlicher Bodenschutz in Sachsen“ im Amt für Landwirtschaft Döbeln – Mittweida.

## 5.9.2.    Veröffentlichungen

- LEICHTFUß, A.; SCHRÖTER, K.; OSTROWSKI, M.; PETERS, C.; MÜHLECK, R., JEKEL, M.; THIEL, E.; SCHMIDT, W.; SIEKER, H.: Entwicklung eines Decision Support Systems für die integrierte wasserwirtschaftliche Planung in kleinen Einzugsgebieten. In: KA - Abwasser, Abfall, (2003)2, S. 213 - 217.

- THIEL, E.: Entwicklung eines Decision Support Systems für die integrierte wasserwirtschaftliche Planung in kleinen Einzugsgebieten. In: Infodienst der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, (2003)7, S. 47 - 52.
- THIEL, E.: Einzugsgebietsbezogene Abschätzung der Sediment- und partikelgebundenen Phosphorfrachten von landwirtschaftlichen Nutzflächen mit Hilfe des Modells EROSION 3D, Beispiel Talsperre Saidenbach. In: Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, 9(2004)10, S. 65 - 77.
- THIEL, E.: Web-based GIS and a measure-data-base as tools for a Decision Support System for integrated Water Resource Planning in small catchment areas . In: Geller, W.; Blachuta, J.; Blazkova, S. (Hrsg.): 11th Magdeburg Seminar on Waters in Central and Eastern Europe: Assessment, Protection, Management. Proceedings of the international conference 18 - 22 October 2004 at the UfZ. Leipzig-Halle: UFZ, 2004. (UfZ-Bericht H. 18) S. 293 - 294.
- THIEL, E.; SCHMIDT, W.: EROSION 3D & Web-GIS ArcIMS - Kombinierte Nutzung zweier Werkzeuge für das Einzugsgebietsmanagement. In: Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 104(2004) S. 57 - 58.

### 5.9.3. Betreute Qualifizierungsarbeiten

- KACIREK, A.: Analyse und Bilanzierung/Modellierung von diffusen Stickstoff-Eintragspfaden in einem Teileinzugsgebiet (Hölzelbergbach) der Saidenbachtalsperre mit dem Modell SWAT. Leipzig, Univ., Inst. für Geographie, Diplomarbeit, 2005.
- LERCHE, T.: Die Erstellung von Potenzialkarten des Wasserrückhaltes von landwirtschaftlichen Nutzflächen. Die exemplarische Umsetzung am Einzugsgebiet der Talsperre Saidenbach. Freiberg, Techn. Univ., 2003.
- NAUMANN, S.: Analyse und Bilanzierung/Modellierung von punktuellen und diffusen Phosphor-Eintragspfaden im Einzugsgebiet der Saidenbachtalsperre- Teileinzugsgebiet Lippersdorfer Bach. Leipzig, Univ., Inst. für Geographie, Diplomarbeit, 2005.
- RICHTER, S.: Ableitung und Bewertung von Strategien zur Minderung des Bodeneintrages in die Talsperre Bautzen unter Anwendung des Erosionssimulationsmodells EROSION 3D. Dresden, Techn. Univ., Inst. für Geographie, Diplomarbeit, 2004.
- SEIBT, P.: Einfluss der konservierenden Bodenbearbeitung auf die Pegelzuflüsse in drei ausgewählten Teileinzugsgebieten der Talsperre Saidenbach. Dresden, Techn. Univ., Inst. für Geographie, Diplomarbeit, 2003.

## 5.10. Schlussfolgerungen

Die Fallstudie Talsperre Saidenbach stellt mit einem Einzugsgebiet von ca. 60 km<sup>2</sup> den kleinsten Betrachtungsraum innerhalb der im Projektverbund untersuchten drei Fallstudien dar. Weiterhin handelt es sich um ein Einzugsgebiet einer Trinkwassertalsperre. Der Flächenanteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche beträgt im Einzugsgebiet 66%, davon sind 73% ackerbaulich genutzt. Die Arbeit in der Fallstudie hatte zunächst die Dokumentation der durch die verschiedenen Akteure im Einzugsgebiet praktizierten Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz, die beispielhafte Erfassung der dort ablaufenden Entscheidungsprozesse (und der dafür verfügbaren bzw. verwendeten Datengrundlagen) und der daran beteiligten Akteure (Fachbehörden, Gemeinden, Privatpersonen usw.) zum Ziel. Auf diese Weise wurden seit Projektbeginn die betroffenen Entscheidungsträger in die Entwicklung des WSM300-DSS einbezogen, um durch deren kritische Projektbegleitung eine möglichst praxisnahe Umsetzung der Projektergebnisse zu erzielen. In Zusammenarbeit mit der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen wurde eine projektbegleitende Arbeitsgruppe eingerichtet, welche durch regelmäßige Veranstaltungen der Projektsstand präsentiert wurde.

Durch die Zusammenarbeit mit den o. a. Entscheidungsträgern konnten folgende Problemlagen im Einzugsgebiet festgestellt werden:

- diffuse Stoffeinträge aus landwirtschaftlich genutzten Bereichen,
- Stoffeinträge aus Hauskläranlagen (Nährstoffe, Fäkalkeime),
- Stoffeinträge ausgehend von einer Bundesstraße,
- Folgewirkungen veränderter N- und P-Gehalte im Wasser der Talsperre (Algenspektrum),
- veränderte Stoffzufuhr aus der Pedosphäre bei Waldumbaumaßnahmen sowie Wiederaufforstungen,
- Informationsdefizit der Akteure.

In der hier betrachteten Fallstudie Talsperre Saidenbach wurden u. a. Abschätzungen der diffusen Stoffeinträge (Sediment, Phosphor, Nitrat) aus dem Bereich der Landwirtschaft mit verschiedenen Schätzverfahren und komplexen Modellansätzen (EROSION 3D, ABAG, SWAT etc.) vorgenommen. Die Möglichkeiten und Grenzen der eingesetzten Modelle und Bilanzierungsverfahren wurden im Sinne ihrer Verwendung für die EU-WRRL geprüft. Im Hinblick auf die Entwicklung und Umsetzung von Minderungsstrategien in der Praxis sollen damit Flächen diffuser Stoffeinträge lokalisiert und die Größenordnungen der eingetragenen Stofffrachten erfasst oder abgeschätzt bzw. modelliert werden können.

Für die Erleichterung der Kommunikation auf einer einheitlichen Basis sowie für die Entscheidungsfindung im Bereich von Bewirtschaftungsplänen im Sinne der EU-WRRL wurde eine Datenbank „Maßnahmendatenbank Gewässer- und Bodenschutz“ aufgebaut. Ziel der Datenbank ist es, dem Anwender (Entscheidungsträger, Modellierer etc.) einen Überblick über die potenziell zur Verfügung stehenden Einzelmaßnahmen aus den verschiedenen Fachressorts im Sinne eines integrierten Boden- und Gewässerschutzes auf operativer Ebene zu geben.

Ein großes Defizit im Sinne eines integrierten Einzugsgebietsmanagements bildet in vielen Gewässereinzugsgebieten der fehlende Überblick über Datenausprägungen und deren Verfügbarkeiten sowie über bereits vorhandene Modellierungsergebnisse. Im Rahmen der Fallstudie Talsperre

Saidenbach wurden deshalb die Möglichkeiten der Nutzung eines Web-GIS zur interaktiven und transparenten Ergebnisaufbereitung der vorher simulierten Szenarien geprüft und beispielhaft auf den Internetseiten der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) installiert.

Alle für die Bearbeitung der FS Saidenbach notwendigen Daten konnten erschlossen werden. Die Ergebnisse der Modellierungen bzw. die Erfahrungen aus dem Zusammenspiel der Komponenten sollen zeitnah in aktuelle Entscheidungen der Praxis einfließen können. Die Ergebnisse des DBU-Projektes WSM300 werden in laufenden Forschungsvorhaben der LfL zum Schwerpunkt Wasser- und Stoffstrommanagement auf Einzugsgebietsebene (z. B. Projekt „Umsetzung erosionsmindernder und hochwasserreduzierender Maßnahmen auf Einzugsgebietsebene am Beispiel des Stausees Baderitz“) zur Anwendung gebracht. Zum anderen werden die im Gesamtprojekt sowie in der Fallstudie Saidenbach geprüften Werkzeuge (Erosions- sowie N-Haushaltsmodelle, multikriterielle Bewertungsverfahren usw.) bei den zukünftig im Rahmen der EU-WRRL zu erarbeitenden und umzusetzenden Bewirtschaftungs- und Managementplänen zum Einsatz kommen.

## 5.11. Literatur

- BASTIAN, O.; SCHREIBER, K.-F.: Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft. Jena: Fischer, 1994.
- BEHRENDT, H.; HUBER, P.; OPITZ, D.; SCHMOLL, O.; SCHOLZ, G.; UEBE, R.: Nährstoffbilanzierung der Flußgebiete Deutschlands. Berlin: UBA, 1999. (Texte/Umweltbundesamt ; 1999/75)
- BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (BGR) (Hrsg.): Methodendokumentation Bodenkunde. Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden. Stuttgart: Schweizerbart, 2000. (Geologisches Jahrbuch : Sonderheft: Reihe G ; H. 561)
- DÖRHÖFER, G.; JOSOPAIT, V.: Eine Methode zur flächendifferenzierten Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate. In: Geologisches Jahrbuch : Reihe C(1980)27, S. 45-65.
- ESRI: Schulungsunterlagen ArcIMS für Einsteiger. Kranzberg: ESRI, 2003.
- FREDE, H.-G.; DABBERT, S. (Hrsg.): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft. Landsberg: Ecomed, 1998.
- GIESECKE, J.; SCHMITT, P.; MEYER, H.: Vergleich von Rechenmethoden für Gebietsniederschläge. In: Wasserwirtschaft (1983)1, S. 1-7.
- GREEN, W.-H., AMPT, G.-H.: Studies on soil physics - Part I: The flow of air and water through soils. In: Journal of Agricultural Science 4(1911) S. 1-24.
- KACIREK, A.: Analyse und Bilanzierung/Modellierung von diffusen Stickstoff-Eintragspfaden in einem Teileinzugsgebiet (Hölzelbergbach) der Saidenbachtalsperre mit dem Modell SWAT. Leipzig, Univ., Inst. für Geographie, Diplomarbeit, 2005.
- KARL, J.: Bodenbewertung in der Landschaftsplanung. Methode zur Bilanzierung von Eingriffen in das Schutzgut Boden und den Bodenwasserhaushalt. In: Naturschutz und Landschaftsplanung (1997)1, S. 5-17.
- LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER: Gewässerbewertung - Stehende Gewässer. Vorläufige Richtlinie für die Trophieklassifikation von Talsperren. Schwerin: Kulturbuch-Verl., 2001.

- LANDESTALSPERRENVERWALTUNG DES FREISTAATES SACHSEN: Nitratbericht Sächsischer Trinkwassertalsperren. Bericht der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen zur Belastung der sächsischen Talsperren mit Nitrat bis zum Jahre 2002. Pirna: Talsperrenverwaltung, 2003.
- LANKAU, R., KUHN, K., GRISCHEK, T.: Nitratkonzentration im Grundwasser in Sachsen - Auswertungen und Perspektiven. Vortrag auf dem Kolloquium "5 Jahre Sächsische Schutz- und Ausgleichsverordnung (SächsSchAVO)", Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft am 29.04.2003.
- MARTENS, J.: Einsatz der Nutzwertanalyse als Bewertungsinstrument im Zusammenhang mit der Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie. In: KA - Abwasser, Abfall (2004)9, S. 943-944.
- MENSE-STEFAN, A.: Standortdifferenzierte Abschätzung von Sickerwasserraten in einem planungsrelevanten Maßstab - Regionale Betrachtungen des Bodenwasserhaushaltes. In: Lorz, C.; Haase, D. (Hrsg.): Stoff- und Wasserhaushalt in Einzugsgebieten. Beiträge zur EU-Wasserrahmenrichtlinie und Fallbeispiele. Berlin [u. a.]: Springer, 2004. S. 135-170.
- NAUMANN, S.: Analyse und Bilanzierung/Modellierung von punktuellen und diffusen Phosphor-Eintragspfaden im Einzugsgebiet der Saidenbachtalsperre- Teileinzugsgebiet Lippersdorfer Bach. Leipzig, Univ., Inst. für Geographie, Diplomarbeit, 2005.
- PAUL, L.; HORN, H.; HORN, W.: Die Veränderung der Nährstoffbelastung der Saidenbach-Talsperre seit 1990 und Auswirkungen auf den Stoffhaushalt. In: Fritsche, W.; Zerling, L. (Hrsg.): Umwelt und Mensch-Langzeitwirkungen und Schlussfolgerungen für die Zukunft. Stuttgart ; Leipzig, Hirzel, 2000. (Abhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig : Mathematisch - naturwissenschaftliche Klasse ; Bd. 59, H. 5) S. 79-87.
- RODE, M.: Neue Ansätze für das integrierte Flusseinzugsgebietsmanagement. Das UfZ Verbundprojekt am Beispiel des Saaleeinzugsgebietes. In: Forum Geoökol. 12(2001)3, S. 24-27.
- SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE: Europäische Wasserrahmenrichtlinie. In: Neue Impulse für Sachsen - Informationsblatt (2004)1, S. 1-11.
- SCHMIDT, J., VON WERNER, M., MICHAEL, A., SCHMIDT, W.: EROSION 2D/3D. Ein Computermodell zur Simulation der Bodenerosion durch Wasser. Dresden: LfL, 1996.
- SCHMIDT, J.: A mathematical model to simulate rainfall erosion. In: Catena 19(1990) Suppl. S. 101-109.
- SCHMIDT, J.: Entwicklung und Anwendung eines physikalisch begründeten Simulationsmodells für die Erosion geneigter landwirtschaftlicher Nutzflächen. Berlin: Inst. für Geographische Wissenschaften, 1996. ( Berliner Geographische Abhandlungen ; H. 61).
- SCHNECK, A.; HAAKH, F.; LANG, U.: Multikriterielle Optimierung der Grundwasserbewirtschaftung - dargestellt am Beispiel des Wassergewinnungsgebiets Donauried. In: Wasserwirtschaft (2004)2, S. 32-39.
- SCHWARZE, R.; DREWLOW, F.; DRÖGE, W.; BEBLIK, A.; GRÜNEWALD, U.: Wasser- und Stickstoffhaushalt im Festgesteinseinzugsgebiet der Elbe. In: BfG (Hrsg.): Statusseminar Elbe-Ökologie 2.-5. November 1999. Berlin: BfG, 1999. (BfG-Mitt. ; H.6) S. 96-100.
- SCHWARZE, R.; DRÖGE, W.; OPPERDEN, K.: Regionalisierung von Abflusskomponenten, Umsatzräumen und Verweilzeiten für kleine Mittelgebirgseinzugsgebiete. In: Kleeberg, H.-B.; Mauser, W.; Peschke, G.; Streit, U.; Becker, A.; Diekrüger, B.; Schwarze, R.; Schumann, A. H. (Hrsg.): Hydrologie und Regionalisierung: Ergebnisse eines Schwerpunktprogramms (1992-1998). Weinheim [u. a.]: Wiley-VCH, 1999.

- SCHWEIGERT, P.: Multiple Regressionsmodelle zur Witterungsabhängigkeit von  $N_{\text{min}}$ -Werten: Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten. In: Agribiol. Res.51(1998)51, S. 253-260.
- SCHWERTMANN, U., VOGL, W., KAINZ, M.: Bodenerosion durch Wasser: Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Stuttgart: Ulmer, 1990.
- SOKOLLEK, V.: Der Einfluß der Bodennutzung auf den Wasserhaushalt kleiner Einzugsgebiete in unteren Mittelgebirgslagen. Gießen, Univ., Diss., 1983.
- THIEL, E., SCHMIDT, W.: Verbesserte Ansätze für Wasser- und Stoffstrommanagement in intensiv genutzten kleinen Einzugsgebieten auf der Grundlage von integrierten Nutzen- und Risikobewertungen (WSM300). – Abschlussbericht zum Teilprojekt Fallstudie Trinkwassertalsperre Saidenbach (Erzgebirge). Schriftenreihe Heft 4/2006, 151 Seiten. Das Heft kann kostenlos heruntergeladen werden (Internet-Adresse: [http://jaguar.smul.sachsen.de/lfi/publikationen/download/1872\\_2.pdf](http://jaguar.smul.sachsen.de/lfi/publikationen/download/1872_2.pdf)).
- THÜRKOW, D.: GIS-basierte Methoden zur Analyse der Wasserqualitätsentwicklung in Trinkwasserbrunnen am Beispiel des Einzugsgebietes der Saidenbachtalsperre (Erzgebirge). Leipzig-Halle: UFZ, 2002. (UFZ-Bericht H. 8)
- WERNER, M. VON: Modellgestützte Ableitung hochauflösender digitaler Bodenerosionsprognosekarten für das Einzugsgebiet der Jahna (Ist-Stands-Analyse und Variantenvergleich). Abschlußbericht. Freiberg : LfUG, 2000.

## 6. Fallstudie Modau

Das Einzugsgebiet der Modau ist eine der im Rahmen von WSM300 bearbeiteten Fallstudien. Es dient zur Erprobung der im Forschungsvorhaben entwickelten Methoden und Funktionen des Entscheidungshilfesystems.

Für das Modaugebiet wird beispielhaft ein Bewirtschaftungskonzept mit Empfehlungen zu verschiedenen Maßnahmen erarbeitet. Dabei wird ein integrierter Planungsansatz verfolgt, der sich sowohl auf die ganzheitliche Analyse der Wirkungsbeziehungen verschiedener Maßnahmen als auch auf die Beteiligung der betroffenen Akteure bezieht.

Die Bearbeitung der Fallstudie Modau erfolgt auf zwei Arbeitsebenen. Die „planerischen“ Arbeiten umfassen die Einrichtung eines Gewässerbeirats, der sich aus den betroffenen Verwaltungs-, Nutzungs- und Interessenbereichen zusammensetzt und vom IHWB in Zusammenarbeit mit dem Regierungspräsidium Darmstadt geleitet wird.

Die zweite Arbeitsebene beinhaltet die „technischen“ Arbeiten, die vom IHWB durchgeführt wurden. Sie schließen den Aufbau und die Anwendung der notwendigen Funktionalitäten und Komponenten des Entscheidungshilfesystems (Kapitel 3) ein.

Der Ablauf der Arbeiten in der Fallstudie ist in nebenstehender Abbildung dargestellt. Das Schema verdeutlicht das Ineinandergreifen der verschiedenen Arbeitsschritte und einzelner Komponenten des Entscheidungshilfesystems.

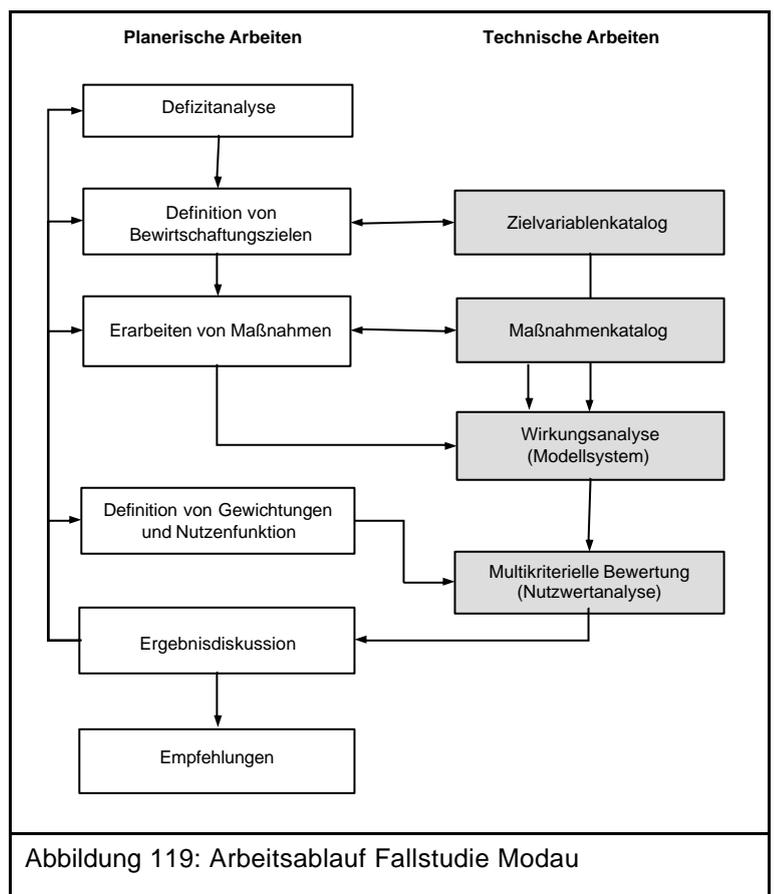


Abbildung 119: Arbeitsablauf Fallstudie Modau

Darüber hinaus wurde auf Grundlage eines Geographischen Informationssystems (ArcGIS) ein Gewässerinformationssystem für die Fallstudie aufgebaut. Die darin enthaltenen Daten stellen eine wichtige Grundlage für die Arbeit im Gewässerbeirat dar. Insbesondere die Bereitstellung von Fotos und Luftbildern unterstützt eine sachlich orientierte Diskussion in den Beiratssitzungen.

Für die Information der breiten Öffentlichkeit wurde eine Internetseite zur Fallstudie Modau eingerichtet. Darin werden allgemeine Informationen zum Einzugsgebiet und Hintergründe zum Forschungsvorhaben WSM300 sowie aktuelle Informationen zu den Arbeiten im Gewässerbeirat bereitgestellt. Ein Forum bietet die Möglichkeit, Fragestellungen zu diskutieren und zu aktuellen Themen Stellung zu nehmen.

## 6.1. Öffentlichkeitsbeteiligung

In der wasserwirtschaftlichen Planung sind vielfältige Nutzungsansprüche und Anforderungen zu berücksichtigen. Da nur durch eine hohe gesellschaftliche Akzeptanz bestehende Strukturen verändert werden können, hat ein ganzheitlicher Planungsansatz auch eine gesellschaftliche Komponente. Diese Sichtweise ist Bestandteil der EU-WRRL, die in Artikel 14 „die formalisierte Anhörung der Öffentlichkeit bei der Erarbeitung von Bewirtschaftungsplänen für Flussgebiete sowie eine Stellungnahme“ fordert (Rat der Europäischen Union 2000). Die Überlegungen zu einer verbesserten einzugsgebietsbezogenen Planung mit dem Ziel, konsensfähige Lösungen für die Bewirtschaftung des Modaugebiets zu erarbeiten, beinhalten daher die Umsetzung eines offenen Planungsansatzes als einen kommunikativen Diskussionsprozess unter allen Beteiligten und Betroffenen. Daher wurde in der Fallstudie Modau ein Schwerpunkt auf die Einbindung der Öffentlichkeit gelegt. Als Auftakt wurde ein Gewässertag, der „Tag der Modau“, durchgeführt. Die wichtigsten Inhaltspunkte waren:

- Information über Anlass und Hintergründe der Fallstudie
- Einbinden von „Wissensträgern“
- Erfassen von Anforderungen und Ansprüchen aus verschiedenen Nutzungs- und Interessenbereichen. Aufdecken von Defiziten und Nutzungskonflikten
- Sensibilisierung für wasserwirtschaftliche Problem- und Fragestellungen

**Als Ergebnis wurde die Einrichtung eines Gewässerbeirats beschlossen, der sich aus Vertretern der verschiedenen Nutzungsbereiche zusammensetzt und eine aktive Einbindung der Fachöffentlichkeit während aller Phasen des Planungsprozesses sicherstellt. In Tabelle 1 sind die Mitglieder des Gewässerbeirats aufgeführt.**

Tabelle 30: Mitglieder Gewässerbeirat Modau

Organisation / Interessenbereich	
Hessenwasser GmbH	Wasserversorger
Obere Naturschutzbehörde	RPU Darmstadt
BUND Mühlthal	Naturschutz
Hauptabteilung Amt für den ländlichen Raum	Landratsamt Darmstadt-Dieburg
Landwirtschaft Regional BVB	Landwirtschaftsverband
Obere Fischereibehörde	RPU Darmstadt
Hegegemeinschaft Modau	Fischerei
Hessisches Forstamt Seeheim-Jugenheim	Forstwirtschaft
Industrie und Handelskammer Darmstadt	Bereich Innovation und Umwelt
H. Matthes & Söhne oHG	Getreidemühle Schlossmühle
Tiefbauamt/Straßenverkehrsamt Darmstadt	Kommunalvertretung Eberstadt
Gemeinde Mühlthal	Kommune
Gemeinde Modautal	Kommune
Stadt Ober-Ramstadt	Kommune
Gemeinde Seeheim-Jugenheim	Kommune
Hessischer Landesverein zur Erhaltung und Nutzung von Mühlen (Region Odenwald)	Wasserkraft
Wasserverband Modau	Zweckverband der Kommunen
Geschäftsführung:	
Fachgebiet für Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung TU- Darmstadt	
Staatliches Umweltamt Dezernat IV 41.3	
Kommunales Abwasser, Schutz oberirdischer Gewässer, Gewässerbeschaffenheit	RPU Darmstadt

Der Gewässerbeirat hat die Schritte des Planungsprozesses begleitet. Aufgabe war es Vorschläge zu möglichen zukünftigen Entwicklungszielen und entsprechenden Maßnahmen für das Gewässer zu erarbeiten, die Entwicklungsszenarien auf Grundlage der Vorschläge des Beirats hinsichtlich ihrer Zielerfüllung zu bewerten und die Stellungnahme in die Beschlussgremien und Fachplanungsbereiche einzubringen. In insgesamt sechs Sitzungen wurde die Defizitanalyse, die Definition der Bewirtschaftungsziele, das Erstellen von Maßnahmenzenarien, die Gewichtung für die Bewertung und

die Ergebnisse in Abstimmung mit den Beteiligten erarbeitet und diskutiert. Dadurch wurden Umsetzungshindernisse für verschiedene Maßnahmen erkannt und gleichgerichtete Ziele verschiedener Fachdisziplinen koordiniert.

## 6.2. Gebietsbeschreibung

Das Einzugsgebiet der Modau (244 km<sup>2</sup>) liegt im Süden Hessens und ist auf Grund der unterschiedlichen naturräumlichen Gegebenheiten in einen oberen und unteren Teil zu trennen. Der Bereich oberhalb Eberstadt (ca. 90 km<sup>2</sup>) liegt im westlichen Odenwald, die Gewässer sind durch die Eigenschaften des Mittelgebirges geprägt. Der untere Bereich (ca. 154 km<sup>2</sup>) erstreckt sich in der hessischen Rheinebene. Er zeigt die für Flachlandgewässer typischen Merkmale.

Die jährliche mittlere Niederschlagshöhe variiert zwischen 1000 mm in den Mittelgebirgslagen des Odenwalds und 750 mm im Hessischen Ried. Der mittlere Abfluss (MQ) am Pegel Eberstadt (16 km oberhalb der Mündung) beträgt 0,8 m<sup>3</sup>/s. Der mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ) liegt bei 0,29 m<sup>3</sup>/s. Der bislang höchste Hochwasserabfluss (HQ) wurde am 20.07.1965 mit 21,2 m<sup>3</sup>/s registriert.

Die Modau wird seit langem durch vielseitige Nutzungen des Menschen geprägt und verändert. Die Arten der vorhandenen Nutzungen der Flächen und der Gewässer sind gemäß den Randbedingungen in den jeweiligen Naturräumen unterschiedlich. Während im oberen Einzugsgebiet neben landwirtschaftlicher Nutzung auch hohe Waldanteile vorhanden sind, wird das untere Gebiet vorwiegend intensiv landwirtschaftlich genutzt, siehe Abbildung 2. Im oberen Einzugsgebiet existieren Ortschaften, im mittleren Abschnitt, dem Übergang in die Ebene des Hessischen Rieds, nimmt die Siedlungs- und Bevölkerungsdichte zu. Es existieren eine Vielzahl von Einleitungen aus der Siedlungsentwässerung, insbesondere Kläranlagenabläufe und Entlastungsbauwerke der Mischkanalisationen, siehe Abbildung 3.

Mit dem Ziel die Ortslagen vor Hochwasser zu schützen und die Entwässerung der landwirtschaftlichen Nutzflächen im Hessischen Ried und der Siedlungsgebiete sicherzustellen, sind die Fließgewässer größtenteils eingedeicht und technisch ausgebaut worden. Das Hochwasserrückhaltebecken bei Ober-Ramstadt und der Abschlag am Sandbachwehr zwischen Eberstadt und Pfungstadt sind weitere Bestandteile des Hochwasserschutzkonzepts für die mittlere und untere Modau, Abbildung 2.

An der Modau hat die Energiegewinnung aus Wasserkraft eine lange Tradition. Aus diesem Grund existiert eine Vielzahl von Wehren, die ehemals dem Aufstau und der Ausleitung von Wasser dienten. Momentan erzeugen vier Mühlen im Ober- und Mittellauf Strom (Abbildung 120).

Fischerei wird an der Modau in Form der Angelfischerei betrieben. Zudem gibt es im Oberlauf der Modau zahlreiche Fischteiche, die durch Wasserentnahmen aus der Modau gespeist werden.

Im hessischen Ried wird Grundwasser zur regionalen und überregionalen Trinkwasserversorgung gefördert. Der Austausch mit den Oberflächengewässern und der damit verbundene Transport von Stoffen sind daher von besonderer Relevanz.

### Einzugsgebiet Modau

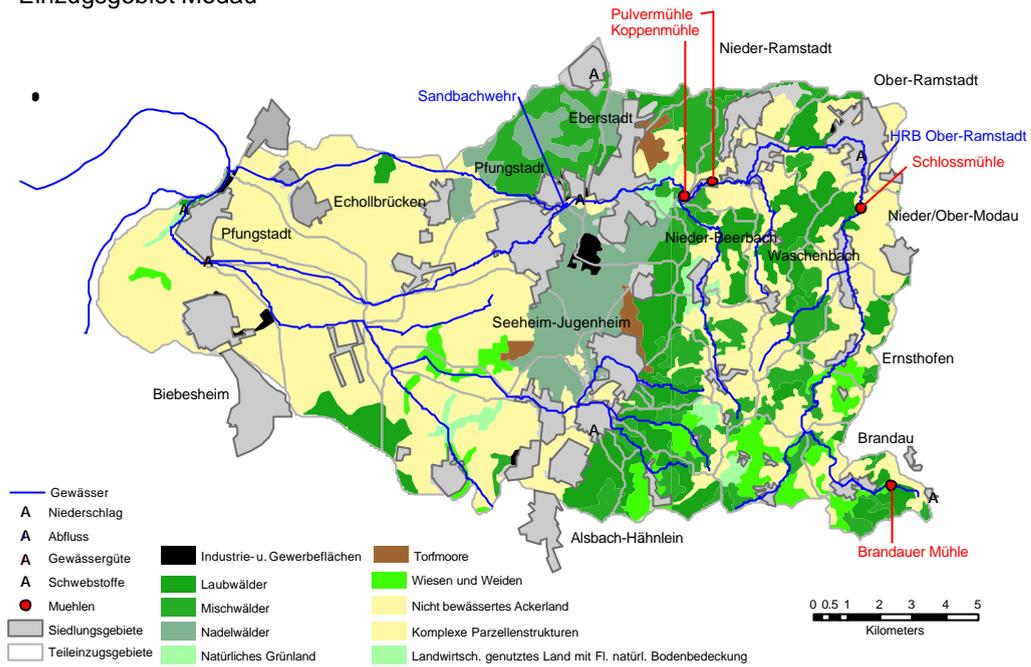


Abbildung 120: Nutzungen im Modaugebiet

### Siedlungsentwässerung Modaugebiet

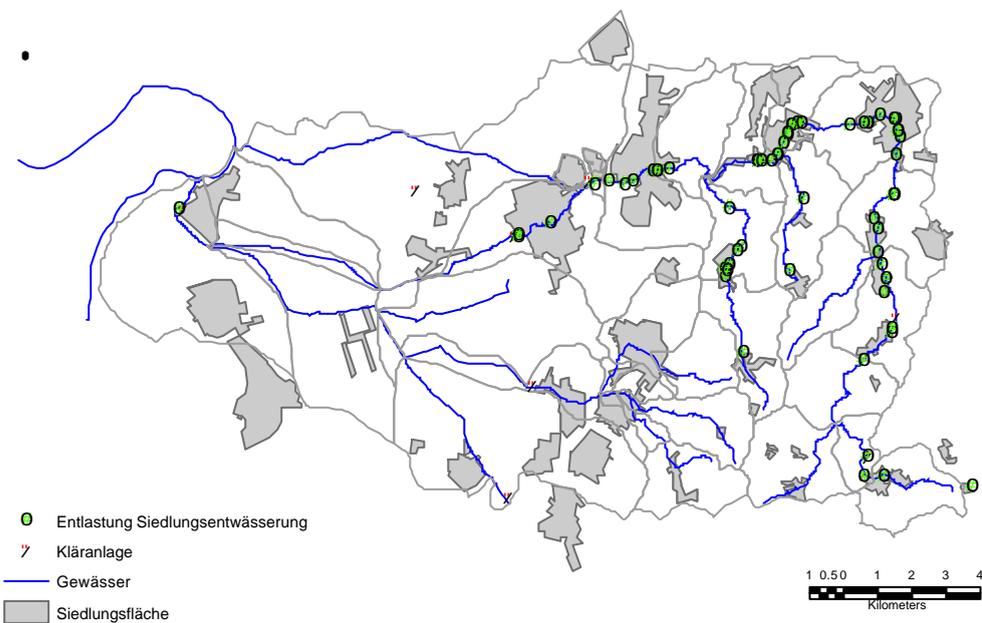


Abbildung 121: Siedlungsentwässerung Modaugebiet

## 6.3. Defizite

Aus den vielseitigen Nutzungsbereichen im Modaugebiet entstehen gegensätzliche Anforderungen an die Wasserbewirtschaftung. Die zu betrachtenden Fragestellungen sind komplex, da bei der Planung und Entscheidungsfindung eine Vielzahl von Kriterien zu berücksichtigen sind. Ausgehend von den Ansprüchen aus den Nutzungsbereichen wurden der aktuelle Zustand analysiert und bestehende Defizite identifiziert.

Die biologische Gewässergüte veranschaulicht die Reaktion der aquatischen Lebensgemeinschaft auf sämtliche im Gewässer wirksamen Beeinträchtigungen über längere Zeiträume. Durch die Analyse des Gewässerzustands anhand einzelner Parameter können die jeweiligen Ursachen für die Belastung erfasst werden.

Nach dem Stand der Gewässergütekartierung in Hessen aus dem Jahr 2000 (HMULF 2001) weisen die Modau und Nebengewässer oberhalb Pfungstadt Güteklassen I (unbelastet), I-II (gering belastet) und II (mäßig belastet) auf. Unterhalb von Pfungstadt herrscht die Güteklasse II-III (kritisch belastet) vor. Den Nebengewässern im Landgrabensystem ist Klasse III (stark verschmutzt) zugeordnet (HMUEJFG und HLFU 1997).

An der Messstelle des hessischen Gewässergütemessprogramms bei Stockstadt (3 km vor der Mündung) werden im Abstand von 28 Tagen Einzelproben gewonnen. Im Zeitraum von 1990 bis 1997 wurden ebenfalls Messwerte am Pegel Eberstadt erhoben. Die von der LAWA für eine stoffbezogene Güteklassifizierung vorgegebenen Grenzwerte (LAWA 1998) werden nur für Sulfat und adsorbierbare organisch gebundene Halogenkohlenwasserstoffe eingehalten. Die Konzentrationen der Stoffgruppen und Verbindungen Gesamt-Stickstoff, Nitrat-Stickstoff, Nitrit-Stickstoff, Ammonium-Stickstoff, Gesamt-Phosphor, Ortho-Phosphat und gesamt organischer Kohlenstoff liegen über den zulässigen Werten. Die Grenzwerte für die Konzentration von Sauerstoff und Chlor werden bei einzelnen Proben überschritten.

Abläufe von Kläranlagen und Einleitungen von Entlastungsbauwerken der Siedlungsentwässerung sind Punktquellen für stoffliche Einträge und hydraulische Belastungen. Auf diesem Weg werden vornehmlich sauerstoffzehrende Substanzen, abfiltrierbare Stoffe, Ammonium aber auch Nährstoffe eingetragen. Der erzeugte hydraulische Stress schädigt die Gewässer durch Drift des Makrozoobenthos und Erosion (HMULV 2004). Die Karte in Abbildung 3 gibt eine Übersicht über die vorhandenen Bauwerke der Siedlungsentwässerung.

Weiterhin sind diffuse stoffliche Einträge bedeutsam, die räumlich verteilt in die Gewässer gelangen. Hierbei sind die Auswaschung von Oberflächen durch Direktabfluss, Erosion, Drainagen und der Austausch mit dem Grundwasser relevant. Auf diesen Eintragspfaden werden vor allem aus dem Herkunftsbereich landwirtschaftlicher Nutzflächen Phosphor und Stickstoff eingetragen.

Anhaltspunkte für die Bedeutung und Anteile der Eintragspfade und deren Entwicklung können aus den Ergebnissen der Quantifizierung der Nährstoffeinträge in die Flussgebiete Deutschlands gewonnen werden (UBA 1999). Abbildung 4 stellt die Anteile der Eintragspfade für das Bilanzgebiet, zu dem das Einzugsgebiet der Modau gehört, für die Nährstoffe Phosphor und Nitrat in den Zeiträumen 1985, 1995 und 2000 dar.

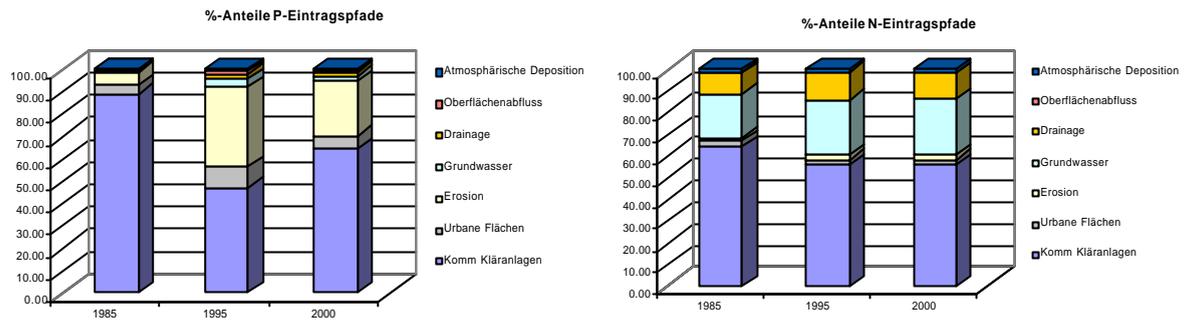


Abbildung 122: Prozentuale Anteile der Eintragspfade von Phosphor und Stickstoff

Der Anteil des Eintragspfads kommunaler Kläranlagen nimmt ab, entsprechend steigt die relative Bedeutung der Pfade Erosion, Grundwasser und Drainagen. Diese allgemeine Entwicklung ist auf den Ausbau der Abwasserreinigungsanlagen in den vergangenen Jahren zurückzuführen, die auch am Trend der Konzentrationsmessungen deutlich wird (HMUEJFG und HLFU 1997), vgl. Abbildung 5.

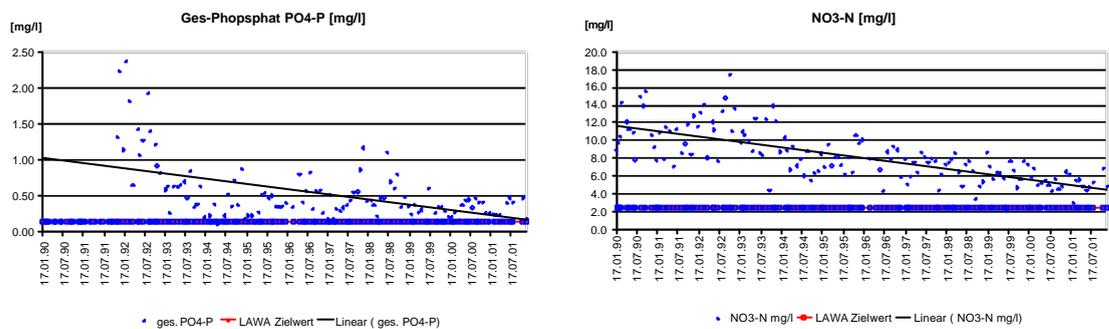


Abbildung 123: Nährstoffkonzentrationen Messstelle Stockstadt

Für die Einhaltung der LAWA-Grenzwerte (LAWA 1998) ist eine weitere Minderung der Nährstoffeinträge notwendig.

Das Erstellen einer Frachtbilanz für die Ermittlung der Eintragsraten für das Modaugebiet ist problematisch, da die vorliegenden Konzentrationsmessungen nicht mit Abflussmessungen verknüpft sind. Die Höhe des Abschlags am Sandbachwehr (15,7 km oberhalb der Mündung) ist variabel und nicht bekannt. Somit ist eine Übertragung der Abflusswerte vom Pegel Eberstadt (16 km oberhalb der Mündung) auf die Gütemessstelle bei Stockstadt ausgeschlossen.

Die Konzentrationen von gelöstem Sauerstoff, Ammonium bzw. Ammoniak sind wichtige Leitparameter für die Beurteilung der Wasserbeschaffenheit. Neben der Langzeitwirkung ist insbesondere auch die akute Wirkung kritischer Sauerstoff- und Ammoniakkonzentrationen von Bedeutung, die z.B. durch erhöhte Stoffeinträge bei Niederschlagsereignissen entstehen können. Die monatlichen Konzentrationsmessungen lassen diesbezüglich keine Aussage zu (siehe Abbildung 124). Für eine detailliertere Betrachtung sind Simulationsmodelle und umfassendere Messprogramme notwendig.

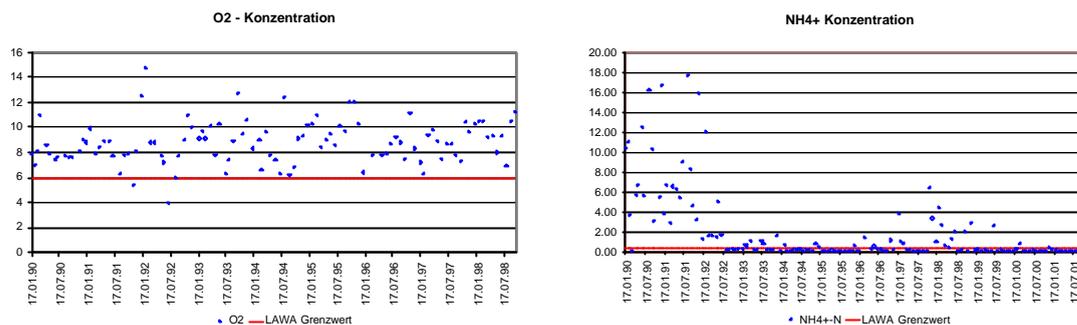


Abbildung 124: Sauerstoff- und Ammoniumkonzentration Messstelle Stockstadt

Die Trinkwassergewinnung im Hessischen Ried stellt besondere Anforderungen an die Grundwasserqualität. Die Interaktion des Grundwassers mit den Oberflächengewässern und der damit verbundene Stofftransport sind daher von großer Bedeutung. Im Rahmen der Fallstudie Modau konnten diese Aspekte jedoch nicht untersucht werden.

Die morphologischen Veränderungen der Gewässer im Modaugebiet durch technischen Ausbau, Eindeichung und Aufstau sind erheblich und haben zu naturfernen Strukturen geführt. Sie sind im Wesentlichen auf die Flächenentwässerung im Zuge der Flurbereinigung, die Sicherstellung der Abflussleistung, die Wasserkraftnutzung und den Hochwasserschutz zurückzuführen. So wird die Durchgängigkeit in Gewässerlängsrichtung durch zahlreiche Querbauwerke unterbrochen. Dabei stellen das Hochwasserrückhaltebecken bei Ober-Ramstadt und das Wehr der Koppenmühle die größten Eingriffe dar. Viele Nebengewässer sind mittels Verrohrungen und betonierten Abstürzen undurchgängig an die Modau angeschlossen. Die Querbauwerke beeinträchtigen die natürlichen Wanderbewegungen der aquatischen Lebewesen, verändern durch Auf- und Rückstau das Abflussverhalten und den Stoffhaushalt dauerhaft und mindern die Qualität der Lebensräume. Die Situation an der Modau stellt sich in der morphologischen Bewertung insgesamt sehr schlecht dar. Achtzig Prozent der 468 betrachteten Gewässerabschnitte werden im Rahmen der Erhebung der Gewässerstrukturgüte als sehr stark (Klasse VI) bzw. vollständig verändert (Klasse VII) eingestuft (HMULF 1999).

Die Abflussdynamik der Gewässer wird durch Landnutzungsänderungen und Flächenversiegelungen verändert. Die Einleitungen aus Entlastungsbauwerken der Siedlungsentwässerung sind in diesem Zusammenhang von besonderer Bedeutung, da die Frequenz und Dynamik von Entlastungsereignissen die Auftrittshäufigkeit und Stärke von natürlichen Hochwasser übertrifft. Diese punktuellen Einleitungen haben erhöhte Schleppspannungen an der Gewässersohle zur Folge. Der erzeugte hydraulische Stress führt zu einer Drift des Makrozoobenthos, Populationsverlusten und Erosion. Der Schaden durch die hydraulische Belastung für die Lebensgemeinschaften des Ökosystems übertrifft oftmals die Auswirkung der stofflichen Einträge aus Entlastungsbauwerken (HMULV 2004; Muschalla, Ostrowski u.a. 2005).

Grundlage für die Bewertung der bestehenden Situation der hydraulischen Gewässerbelastung aus Entlastungen der Siedlungsentwässerungssysteme ist der Referenzwert für den potentiell naturnahen einjährigen Hochwasserabfluss (HQ1,potnat) (BWK 2001). Dieser wurde für das Modaugebiet mit einem Wasserhaushaltsmodell berechnet und ist als flächenbezogene Hochwasserabflusspende in Abbildung 7 dargestellt.

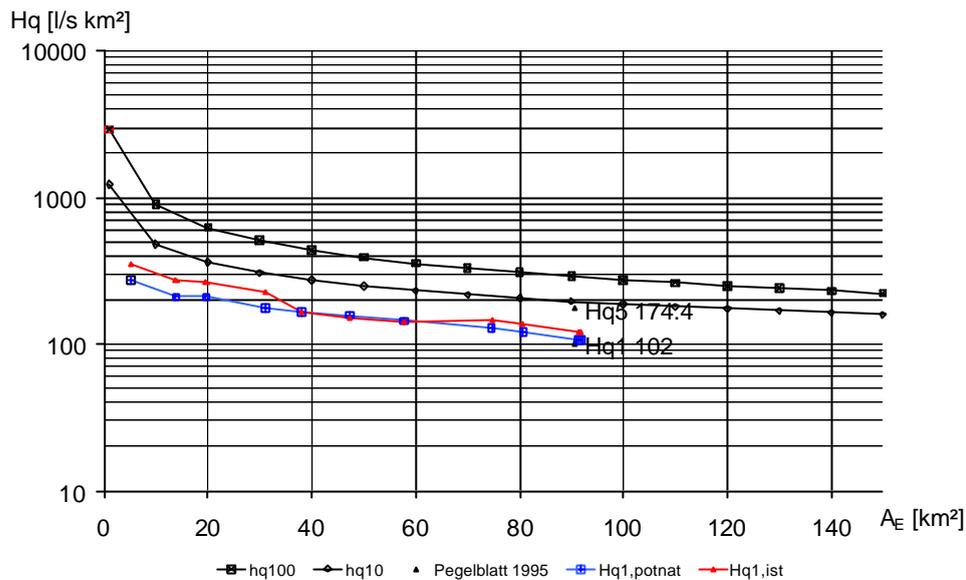


Abbildung 125: Hochwasserabflusspenden Modaugebiet

Die Plausibilität der Berechnungsergebnisse wird durch den Vergleich mit den Abflusspendenlinien für Hochwasserereignisse der Jährlichkeiten 10 und 100 (Kille 1979) und den statistischen Auswertungen des Pegels Eberstadt (LfU 1995) überprüft, die ebenfalls eingezeichnet sind. Das Abflussverhalten wird durch das Hochwasserrückhaltebecken bei Ober-Ramstadt beträchtlich verändert. Der Dauerstaubetrieb erzeugt einen Rückstau und setzt die Fließgeschwindigkeiten oberhalb des Rückhaltebeckens deutlich herab. Darüber hinaus wird das Abflussregime unterhalb des Staubeckens stark vergleichmäßigt. Dies wird an dem Knick der Spendenlinie bei der Einzugsgebietsfläche von 30 km<sup>2</sup> deutlich.

Als Bezugsgröße für den verkraftbaren Einleitungsabfluss aus Siedlungsgebieten wird HQ1,potnat im Gewässer verwendet. Die Summe der Einleitungen aus einem Siedlungsgebiet der Jährlichkeit eins wird näherungsweise durch Niederschlagsereignisse, die ebenfalls die Jährlichkeit eins haben, berechnet. Die Summe der Einleitungen soll diesen Wert um weniger als 15 % bis 30 % überschreiten (HMULV 2004a; HMULV 2004b).

Die Auswertung dieses Kriteriums für das Modaugebiet führt zu dem Ergebnis, dass die Einleitungsabflüsse aus den Siedlungsgebieten unterhalb der Gemeinde Ernsthofen über dem zulässigen Abfluss liegen.

Insgesamt werden für das Gewässersystem der Modau Defizite hinsichtlich des biologischen und strukturellen Zustands, der Wasserbeschaffenheit und des Abflussgeschehens festgestellt.

Die Betrachtung der Wirkungszusammenhänge zwischen bestehenden Nutzungen und erkannten Belastungen grenzt deren Ursachen ein. Als Belastungsbereiche werden die Siedlungsentwässerung, die Flächennutzung sowie der Gewässerausbau und die Abflussregulierung unterschieden.

## 6.4. Bewirtschaftungsziele

Die vielfältigen Nutzungsansprüche und Zielvorstellungen sind in dem Bewirtschaftungsplan für das Modaugebiet zu berücksichtigen. Der Gewässerbeirat hat sich auf die folgenden Ziele für die Bewirtschaftungsplanung im Einzugsgebiet der Modau verständigt:

- Annäherung an das natürliche Abflussregime
- Verbesserung der Wasserqualität (chemisch-physikalisch) und biologischen Gewässergüte
- Verbesserung des morphologischen Zustands der Gewässer und Auen, der Durchgängigkeit und der Vernetzung mit den Nebengewässern
- Erhalt des Hochwasserschutzniveaus
- Erhalt der Wasserkraftnutzung als Bestandteil der Kulturlandschaft.

Der Zusammenhang zwischen den Zielen und messbaren bzw. durch modellgestützte Simulationsrechnungen quantifizierbaren Zustandsgrößen des Gewässersystems wird durch Zielvariablen hergestellt, siehe Tabelle 2. Anhand der Zielvariablen ist eine vergleichende Bewertung verschiedener Maßnahmen zur Erreichung der aufgestellten Ziele möglich. Die Auswahl der Zielvariablen findet auf Grundlage des Zielvariablenkatalogs statt (siehe Anlage).

Tabelle 31: Bewirtschaftungsziele und Zielvariablen Modaugebiet

Bewirtschaftungsziel	Zielvariable
Abflussregime	HQ <sub>1,po</sub> nat
	MNQ <sub>po</sub> nat
Wasserqualität	O <sub>2</sub> -Konzentration
	NH <sub>3</sub> -NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> Konzentration
	P-Gesamtfracht
Morphologie	Einzelparameter der Gewässerstrukturgüte:
	Längsprofil
	Querbauwerk
	Rückstau
Hochwasserschutz	HQ <sub>50</sub>
Wasserkraft	Jahresenergiegewinn [kWh]

## 6.5. Maßnahmen

Aufbauend auf den definierten Bewirtschaftungszielen und den identifizierten Belastungsursachen wurden mit Unterstützung der Maßnahmenkataloge (siehe 2.6) potentiell geeignete Maßnahmen zur Erreichung der Ziele bzw. Minderung der Defizite ausgewählt. Es handelt sich nicht um Detailplanungen konkret umzusetzender Maßnahmen. Das Ziel ist, die Auswirkungen auf Grundlage des im Einzugsgebiet festgestellten Umsetzungspotentials abzuschätzen und vergleichend zu bewerten.

Die untersuchten Maßnahmen setzen in den genannten Belastungsbereichen Siedlungsentwässerung, Flächennutzung sowie Gewässerausbau und Abflussregulierung an. Sie sind in Tabelle 32 zusammengestellt.

Tabelle 32: Übersicht untersuchte Maßnahmen

Bereich	Maßnahme	Erläuterung
Siedlungsentwässerung	Abkopplung von Außengebieten (ABKO)	Außengebiete sind Flächen außerhalb der bebauten Siedlungsgebiete. Die Abflüsse dieser Gebiete werden durch die Maßnahme nicht mehr dem Kanalisationssystem, sondern direkt einem Gewässer zugeführt.
	Dezentrale Versickerung (DZVERS)	Dezentrale Versickerung des Regenwasserabflusses von gering verschmutzten Flächen innerhalb des bebauten Stadtgebietes.
	Stauraumbewirtschaftung (STAUR)	Das Speichervolumen des Kanalnetzes wird durch (a) die Anpassung von Drosselabflüssen besser genutzt und/oder (b) den Bau von zusätzlichem Stauvolumen vergrößert.
	Mischwasserbehandlung (ENDPIPE)	Die Speicherung von Mischwasser im Kanalnetz wird durch den Bau von Rückhalteräumen erhöht. Retentionsbodenfilter bewirken neben der Speicherung eine Reinigung des entlasteten Mischwasser durch eine Bodenpassage.
	Kläranlagenausbau (KAAUSB)	Verbesserte Flockungsfiltration von Phosphor in den Kläranlagen.
Flächennutzung	bepflanzte Uferrandbereiche (UFERRA)	Standortgerechte Bepflanzung der Uferrandbereiche in einer Breite von 10 m ausgehend von der Uferlinie.
	Extensive Grünlandnutzung (EXTENS)	An das Gewässer angrenzende landwirtschaftliche Nutzflächen werden extensiv mit Grünland bewirtschaftet.
	konservierende Bodenbearbeitung (KONSERV)	Umstellung auf erosionsmindernde Bodenbearbeitungspraxis.
Gewässer	Wasserkraft (WASK)	Anpassung der Betriebsregeln von Wasserkraftanlagen.
	Querbauwerke (QUERBW)	Umbau oder Abriss von Wehren, Durchlässen und Verrohrungen.
	Gewässerunterhaltung (UNTERH)	Aussetzen oder Extensivierung der Gewässerunterhaltungsmaßnahmen.
	Aufweitung des Gewässers (AUFW)	Aufweitung des Gewässerbetts durch Abtrag der Uferbereiche.

## 6.6. Wirkungsanalyse

Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung sind die Auswirkungen der Maßnahmen auf alle Zielvariablen zu quantifizieren. Die Maßnahmen und Zielvariablen können in einer Matrix strukturiert und übersichtlich dargestellt werden. Die Zielvariablen definieren die Spalten, die Maßnahmen legen die Zeilen fest. In die Felder der Matrix werden die ermittelten Zielvariablenwerte der Wirkungsanalyse eingetragen. Sie dienen als Grundlage für die multikriterielle Bewertung. Die Matrix für die Fallstudie Modau ist in Abbildung 8 dargestellt. Für die Entscheidungsmatrix der Fallstudie Modau wurde ein Projekt im webbasierten DSS (siehe 3.3) angelegt.

Tabelle 33: Entscheidungsmatrix Modau

Szenarienbausteine und qualitative Wirkung bzgl. der Bewirtschaftungsziele											
Bewirtschaftungsziele	Naturnahes Abflussregime		Hochwasserschutz erhalten		Verbesserung der Gewässerstruktur und Durchgängigkeit			Verbesserung der chemisch-physikalischen Wasserqualität		Naturverträglicher Betrieb von Wasserkraftanlagen	
Zielvariablen	HQ <sub>1</sub>	MNQ	HQ <sub>50</sub>	Querbauwerke	Rückstau	Verrohrung	Zus. durchg. Gew. Länge	O <sub>2</sub> -Konz.	NH <sub>3</sub> -N / NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N Konz.	Ges P / Ortho P Fracht.	Jahresenergiegewinn
Zielwerte											
Szenarien											
Entwässerungssystem (ENTW)											
ABKO											
DZVERS											
STOUR											
ENDPIPE											
KAAUSB											
Flächennutzung (FNZ)											
UFERRA											
EXTENS											
KONSERV											
Gewässer (GEW)											
WASK											
QUERBW											
AUFW											

## 6.7. Modellsystem

Simulationsmodelle dienen als Werkzeug zur Wirkungsanalyse der verschiedenen Maßnahmen bezüglich der betrachteten Zielvariablen. Die Modelle bilden die in der Realität ablaufenden Prozesse näherungsweise ab, sie sind teilweise sehr komplex und erfordern umfassende Eingangsdaten.

Die Auswahl der zu verwendenden Modelle hängt von der jeweils untersuchten Fragestellung ab. Die Abbildbarkeit der Maßnahmen und die Bestimmbarkeit der Zielvariablen aus den Modellergebnissen definieren die Anforderungen an die Modelle. Gegebenenfalls sind mehrere Simulationsmodelle in einem Modellsystem zu kombinieren.

Einige Zielvariablen, z.B. die Gewässerstrukturgüte, können nach dem momentanen Stand der Modelltechnik nicht simuliert werden. In diesem Fall sind andere Methoden zur Wirkungsanalyse zu verwenden.

Die Bewirtschaftungsziele „naturnahes Abflussregime“ und „Hochwasserschutz erhalten“ erfordern die kontinuierliche Abbildung des Wasserhaushalts im Einzugsgebiet. Aus den ermittelten Zeitreihen können durch statistische Analysen sowohl Hochwasserer- als auch Niedrigwasserkenngößen abgeleitet werden (DVWK 1983; DVWK 1992; DVWK 1999). Dafür sind mehrjährige Simulationszeiträume (> 10 Jahre) zu wählen. Für die Auswertung des Jahresenergiegewinns der stromerzeugenden Mühlen sind aus den berechneten Abflussganglinien Summenlinien zu bilden und für den nutzbaren Abflussbereich zu integrieren.

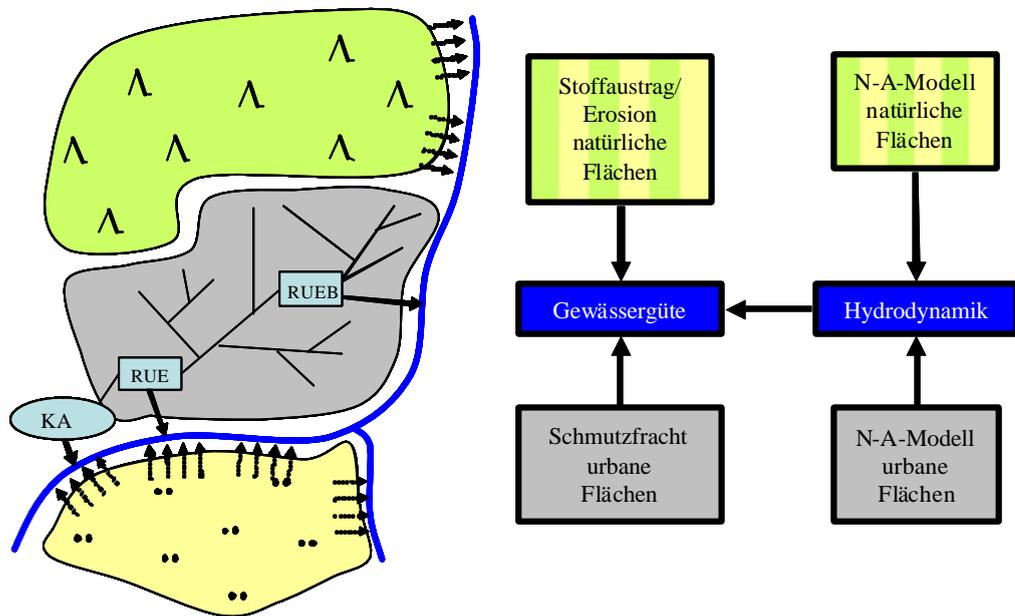
Die Untersuchung und Auswertung der stofflichen Wasserqualitätsparameter ( $O_2$ - und  $NH_3-NH_4^+$ -Konzentration) setzen eine hohe zeitliche Auflösung der berechneten Systemgrößen voraus. Es müssen kurze zeitliche Schwankungen sowie die Dauer kritischer Belastungen infolge von z.B. Einleitungen aus Entlastungsbauwerken der Siedlungsentwässerung abgebildet werden (Schütze, Willems u.a. 2002). Die immissionsorientierte Bewertung der genannten Parameter sowie der Phosphat-Frachten erfordert weiterhin die Erfassung und ereignisbezogene Abbildung aller relevanten Belastungsquellen.

Die in der Fallstudie Modau betrachteten Teilbereiche sind in Abbildung 9a dargestellt. Sie umfassen das Niederschlagsabflussgeschehen natürlicher und urbaner Flächen, den Stoffeintrag aus urbanen und ländlichen Gebieten sowie die Stofftransport- und Umsetzungsprozesse im Gewässer. Die Wirkung der Kläranlage wird stark vereinfacht, die Oberflächenwasser-Grundwasserinteraktionen werden nicht in dem betrachteten System erfasst.

Die hydrologischen- und Stofftransportprozesse werden mit komplementären Modellen abgebildet. Eine schematische Darstellung der verwendeten Komponenten ist in Abbildung 9b gegeben.

Die konzeptionelle Umsetzung des Modellsystem für die Fallstudie Modau umfasst die folgenden sequentiell kombinierten Einzelmodelle:

- SMUSI (Mehler, Leichtfuss u.a. 1998): NA- und Schmutzfrachtmodell urbaner Gebiete
- TALSIM (Lohr 2001): NA-Geschehen und Langzeit-Kontinuummodell der Wasserhaushaltsgrößen des Einzugsgebiets
- SWAT (Arnold, Srinivasan u.a. 1998): Stoffeintragsmodell aus landwirtschaftlichen und sonstigen natürlichen Flächen
- WASP (Ambrose, Wool u.a. 1988): Gewässergütemodell



a  
b  
Abbildung 126: Systemgrenzen Modellsystem

Abbildung 10 zeigt die von den Modellen abgebildeten Wasserflüsse und damit verbundenen Transportpfade der einzelnen Stoffparameter (Ostrowski und Schröter 2004).

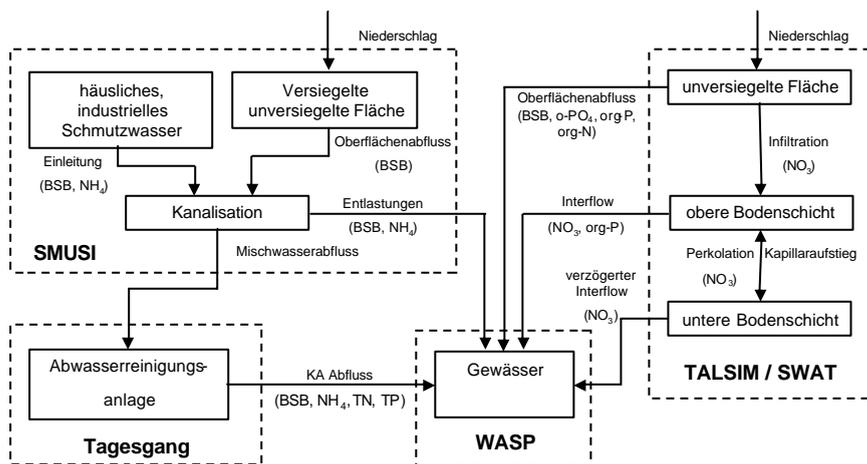


Abbildung 127: Modellsystem

Der Informationsaustausch zwischen den Modellen basiert auf Ein- bzw. Ausgabedateien im ASCII-Format und erfordert eine Reihe von Konvertierungen.

Für die Niederschlagsabflusssimulation wurde das im eigenen Fachgebiet entwickelte Modell TALSIM verwendet. Es ist ein Langzeit-Kontinuumsmodell und berechnet nicht nur die Abflüsse infolge eines gegebenen Niederschlags, sondern auch die Niedrigwasserabflüsse in niederschlagsfreien Zeiten.

Für die Städte und Gemeinden im Einzugsgebiet liegen aktuelle SMUSI Datensätze vor. Es sind allerdings keine Messdaten für eine Kalibrierung vorhanden. Die in SMUSI berechneten Wellen der Entlastungsereignisse werden in Form von Zeitreihen dem Niederschlagsabflussmodell TALSIM übergeben. Ein Datensatz für die Langzeitsimulation und Bestimmung der Abflusskennwerte  $HQ_1$  und  $MNQ$  wurde aufgestellt und anhand der Beobachtungen am Pegel Eberstadt kalibriert.

Für das Modell SWAT wurde die Verfügbarkeit der notwendigen Eingangsdaten untersucht. Es sind detaillierte Angaben über die räumliche Verteilung und die Fruchtfolge auf landwirtschaftlichen Nutzflächen, die Bearbeitungspraxis sowie Angaben zur der Anwendung von Düngemitteln notwendig.

In den jährlichen Gemeindestatistiken zur Landnutzung ist der räumliche Bezug und die Abfolge der Landnutzungen nicht enthalten. Informationen über die Art und Menge eingesetzter Düngemitteln sind nicht verfügbar. Für die Prüfung der Plausibilität der Modellergebnissen sind zudem kontinuierliche Messdaten erforderlich. Im Gewässersystem Modau wird momentan eine Messstelle der hessischen Gewässergüteüberwachung betrieben. Dort werden monatlich Proben entnommen und in Bezug auf ausgewählte physikalische und chemische Parameter analysiert. Die Proben der Messstelle Stockstadt sind nicht mit Abflussmessungen verknüpft. In der Zeit von 1990 bis 1997 liegen zusätzlich Daten für eine Messstelle am Pegel Eberstadt vor. Anhand dieser Messwerte können Jahresfrachten abgeschätzt werden. Rückschlüsse auf die Anteile der verschiedenen Eintragspfade und eine Stoffbilanzierung sind wegen den fehlenden Stoffaustragsdaten jedoch problematisch. Überwachungsmessungen der Stoffeinträge erfolgen nur an den Kläranlagenabläufen. Für die Einträge aus der Fläche und aus Misch- und Niederschlagswassereinleitungen liegen keine Messwerte vor.

Insgesamt lässt die verfügbare Datenlage zur Landnutzung und der Wasserbeschaffenheit keine aussagekräftige Bilanzierung bzw. Modellierung der Stoffeinträge aus ländlichen Flächen zu.

Als Grundlage für die Simulation der Konzentrationen, Stoffumsetzungs- und Transportprozesse im Gewässer mit dem Modell WASP ist zunächst das Strömungsgeschehen, Wasserspiegellage und Geschwindigkeit, zu beschreiben. Das an WASP gekoppelte hydrodynamische Modell DYNHYD hat sich als ungeeignet erwiesen. Zum einen wird die Modellannahme eines konstanten hydraulischen Radius nicht erfüllt. Zum anderen ist die Berechnung von schießendem Abfluss mit dem implementierten numerischen Lösungsverfahren nicht möglich (Ostrowski, Bach u.a. 2004). Daher wurde eine Schnittstelle entwickelt, um aus den berechneten Abflüssen in TALSIM die notwendigen Eingangsdaten für WASP bereit zu stellen. Die stofflichen Einträge (Entlastungen aus der Mischkanalisation, Einleitungen von Kläranlagen) werden durch die Angabe von Zeitfunktionen der jeweiligen Randbedingungen abgebildet. Die Stoffeinträge aus Entlastungen der Mischkanalisation werden mit dem Modell SMUSI berechnet. Das angewandte Konzept flächenspezifischer Schmutzpoteziale liefert Anhaltspunkte über eingetragene Schmutzfrachten. Eine ereignisbezogene Stoffstrommodellierung ist auf dieser Grundlage nicht möglich (Muschalla, Ostrowski u.a. 2005).

Mit den vorhandenen Gewässergütedaten kann keine Kalibrierung des Gewässergütemodells durchgeführt werden. Die Modellergebnisse liefern aus diesem Grund nur die Basis für einen qualitativen Vergleich der untersuchten Maßnahmen.

Die Modelluntersuchungen in der Fallstudie sind daher auf den Wasserhaushalt und das Abflussgeschehen des Einzugsgebiets, den Wasser- und Stoffeintrag aus

Siedlungsentwässerungssystemen sowie ausgewählte Stofftransport- und Umsetzungsprozesse im Gewässer beschränkt.

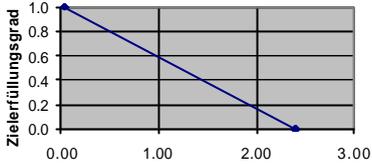
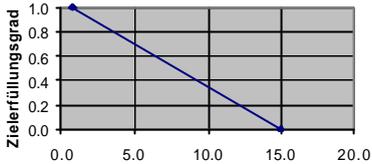
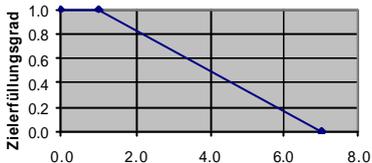
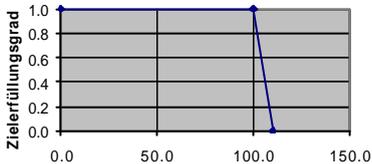
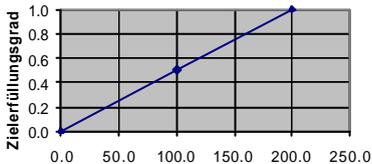
## 6.8. Bewertung

Die multikriterielle Bewertung der Ergebnisse wird durch die Nutzwertanalyse vorgenommen (siehe 2.8). Dafür werden den ermittelten Werten der Zielvariablen durch eine Funktion Nutzwerte zugewiesen und somit das Maß der Zielerfüllung quantifiziert. Bei der Betrachtung von mehreren Zielvariablen werden die Nutzwerte zusätzlich mit Gewichten multipliziert. Der Gesamtnutzwert einer Maßnahmen ist die Summe der Produkte der einzelnen Nutzwerte und deren Gewichte.

Aus diesem Grund sind sowohl die Definition der Nutzenfunktion als auch die Gewichtung der einzelnen Zielvariablen von Bedeutung für das Ergebnis der Bewertung. Die Nutzenfunktionen für die Zielvariablen wurden in Abstimmung mit den Projektpartnern des Forschungsvorhabens definiert und im Gewässerbeirat diskutiert. Sie sind in Tabelle 4 dargestellt. Sie bauen auf wissenschaftlichen Erkenntnissen und anerkannten Grenzwerten auf. Die Nutzenfunktionen stellen eine objektive Zuordnung der auftretenden Zustände zu den Zielvariablen dar. Die Zielvariablen werden zunächst einheitlich gewichtet.

Tabelle 34: Nutzenfunktionen Zielvariablen

Zielvariable	Erläuterung	Nutzenfunktion
<b>HQ<sub>1,potnat</sub></b>	<p>Bezugsgröße: Zulässiger Einleitungsabfluss aus geschlossenen Siedlungsgebieten.</p> <p>Die Gesamtheit der Einleitungen aus geschlossenen Siedlungsgebieten die den potentiell natürlichen Hochwasserabfluss im Einzugsgebiet der Jährlichkeit 1 um 30 % überschreiten werden als schädlich eingestuft.</p> <p>Der Nutzwert 1 entspricht daher dem zulässigen Wert 1,3 HQ<sub>1,potnat</sub>. Ein Nutzwert 0 wird für den momentan höchsten auftretenden Wert (400%ige Überschreitung) vergeben.</p>	
<b>MNQ<sub>potnat</sub></b>	<p>Bezugsgröße: potentiell natürlicher Mittelwasserabfluss (MNQ<sub>potnat</sub>).</p> <p>Eine Abweichung von MNQ<sub>potnat</sub> nach oben oder nach unten wird als Veränderung des natürlichen Abflussregimes angesehen.</p> <p>Nutzwert 1 entspricht MNQ<sub>potnat</sub>, untere Grenze (Nutzwert 0): MNQ = 0, obere Grenze (Nutzwert 0) Verdoppelung des MNQ<sub>potnat</sub>.</p>	
<b>O<sub>2</sub>-Konzentration</b>	<p>Bezugsgröße: Sauerstoffkonzentration im Gewässer [mg/l].</p> <p>Die Nutzenfunktion deckt den sensitiven Bereich möglicher Sauerstoffkonzentrationen ab. Nach Vorgaben der LAWA Gewässergütekriterien ist eine Sauerstoffkonzentration von 9 mg/l für die chemische Gewässergüteklasse II notwendig (Nutzwert = 1). Die untere</p>	

	Begrenzung liegt bei der Sauerstoffkonzentration = 0 mg/l (Nutzwert = 0).	
<b>NH<sub>3</sub>-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Konzentration</b>	Bezugsgröße: Ammonium-Stickstoffkonzentration im Gewässer [mg/l]. Die Nutzenfunktion deckt den Bereich der chem. Gewässergüteklassifizierung der LAWA angegebenen Werte ab. Die Vorgaben fordern für Gewässergüteklasse II eine Ammonium-N Konzentration < 0,04 mg/l (Nutzwert = 1). Als schlechtester Wert (chem. Güteklasse VII) wird eine Konzentration von 2,4 mg/l angegeben (Nutzwert = 0).	
<b>P-Gesamtfracht</b>	Bezugsgröße: eingetragene Phosphatfracht [kg/d]. Die Nutzenfunktion deckt den Bereich der chem. Gewässergüteklassifizierung der LAWA angegebenen Werte ab. Für die Ermittlung der Tagesfracht werden die im Gewässer zulässigen Konzentrationen auf MNQ bezogen. Die Vorgaben fordern für chem. Gewässergüteklasse II eine Ges.-P. Konzentration < 0,05 mg/l (Fracht < 0,8 kg/d; Nutzwert = 1). Als schlechtester Wert wird eine Konzentration von 0,8 mg/l angegeben (Fracht > 14 kg/d; Nutzwert = 0).	
<b>Einzelparameter der Gewässerstrukturgüte</b>	Bezugsgröße: Einzelparameter der Gewässerstrukturgütekartierung (Querbauwerk, Rückstau, Verrohrung). Die Indexskala der Gewässerstrukturgütekartierung deckt den Bereich I (unverändert) bis VII (vollständig verändert) ab. Dieser Bewertung folgend entspricht der Einzelparameterwert I dem Nutzwert 1 und ein Einzelparameterwert VII dem Nutzwert 0.	
<b>HQ<sub>50</sub></b>	Bezugsgröße: Abfluss des bestehenden Hochwasserschutziels mit der Jährlichkeit 50. Der Hochwasserschutz soll erhalten bleiben. Eine Erhöhung des momentanen Hochwasserabflusses (Nutzwert 1) führt daher zu geringeren Nutzwerten.	
<b>Jahresenergiegewinn [kWh]</b>	Bezugsgröße: Energiegewinn [kWh] der Wasserkraftanlage im Ist-Zustand in einem Jahr. Um gleichsam eine Verminderung und Steigerung des Energiegewinns bewerten zu können wird dem Energiegewinn im Ist-Zustand der Nutzwert 0,5 zugewiesen. Ein vollständiger Ausfall des Energiegewinns entspricht dem Nutzwert 0, eine Verdopplung führt zu dem Nutzwert 1.	

## 6.9. Ergebnis der Maßnahmenuntersuchung und Bewertung

Im Rahmen der Fallstudie konnten nicht alle untersuchten Maßnahmen in ihrer Wirkung auf die Zielvariablen untersucht werden. Die Vorgehensweise zur Wirkungsanalyse und Bewertung wird daher beispielhaft für die Maßnahmen der Siedlungsentwässerung im Modauabschnitt der Ortslage Eberstadt dargestellt. Die Maßnahme ABKO wurde in diesem Fall nicht untersucht, da in diesem

Entwässerungsgebiet keine Außengebiete vorhanden sind. Es wurden die Zielvariablen  $HQ_{1,potnat}$ ,  $MNQ_{potnat}$ ,  $HQ_{50}$ ,  $O_2$ -Konzentration,  $NH_3-NH_4^+$  Konzentration und P-Gesamfracht betrachtet. Die berechneten Zielvariablenwerte sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 35: Ergebnisse Zielvariablen Siedlungsentwässerungsmaßnahmen Eberstadt

Zielvariablen		6		Szenarien 6						
				Nr.	01	02	03	04	05	06
				Kurzbez.	IST	DZVERS	STAU	STAU2	ENDPIPE	KAAUSB
				Name	ist	dzvers	staur	staur2	endpipe	kaausb
		Kommentar		Neu	Neu	Neu	Neu	Neu	Neu	
Nr.	Kurzbez.	Einheit	Name							
01	HQ1	%	HQ <sub>1</sub> Eberstadt	380.00	331.00	315.00	270.00	177.00	380.00	
02	MNQ	%	MNQ Eberstadt	91.00	91.00	91.00	91.00	91.00	91.00	
03	HQ50	%	HQ <sub>50</sub> Eberstadt	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
04	O <sub>2</sub>	[mg/l]	O <sub>2</sub> Eberstadt	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	
05	NH <sub>3</sub> -NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	[mg/l]	NH <sub>3</sub> Eberstadt	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	
06	Ges.P	[kg/d]	Ges. P. Eberstadt	4.06	3.99	3.74	3.34	4.06	3.55	

In Abbildung 11 sind die errechneten Nutzwerte der gleich gewichteten Zielvariablen für die untersuchten Maßnahmen dargestellt. Die unterschiedliche Wirksamkeit der Maßnahmen bezüglich der Zielvariablen  $HQ_{1,potnat}$  und P-Gesamfracht wird deutlich. Die Auswirkungen der Maßnahmen auf die Zielvariablen  $MNQ_{potnat}$  und  $HQ_{50}$  konnten mit den untersuchten Niederschlagsereignissen nicht abgebildet werden. Die Ergebnisse der Gewässergütesimulation zeigen, dass die Entlastungen aus dem Kanalisationsnetz Eberstadt keine Auswirkungen auf die  $O_2$ - und  $NH_3-NH_4^+$ -Konzentrationen im Gewässer haben. Die Nutzwerte sind daher für den Istzustand und die untersuchten Maßnahmen gleich.

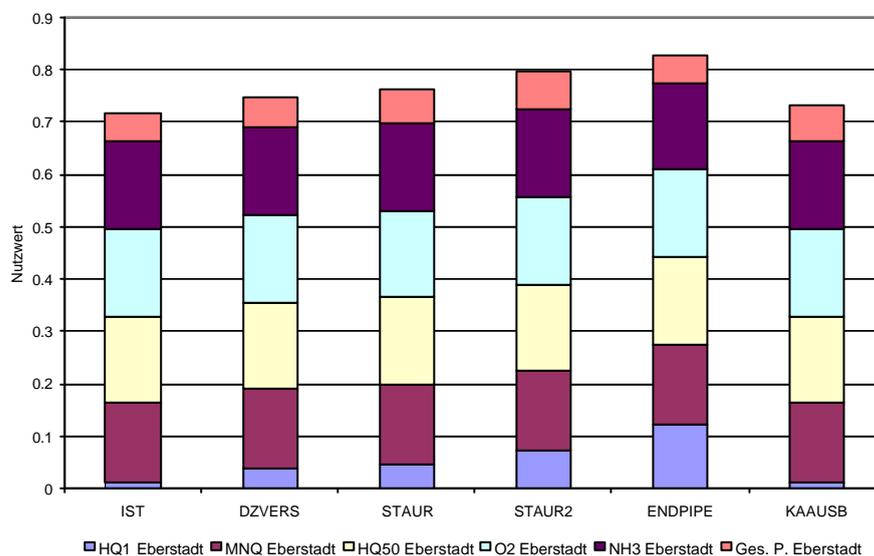


Abbildung 128: Nutzwertanalyse Siedlungsentwässerungsmaßnahmen Eberstadt

Die Betrachtung der Zielvariable  $HQ_{1,potnat}$  macht weiterhin deutlich, dass keine der untersuchten Maßnahmen den geforderten Grenzwert alleine erreicht. Bei der detaillierten Planung sind daher auch Kombinationen verschiedener Maßnahmen zu betrachten.

Da die Maßnahmen im Belastungsbereich Flächennutzung bisher nicht in Modellrechnungen untersucht werden konnten, wurden anhand von Luftbildern Ackerbauflächen im Bereich von 10 m und 20 m vom Gewässer zur Abschätzung der potentiellen Stoffeintragsminderung aus landwirtschaftlichen Nutzflächen ermittelt. Die Sensitivität der durch die Bearbeitungspraxis beeinflussbaren Faktoren wird anhand der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) (Schwertmann, Vogl u.a. 1990), einer empirischen Gleichung zur Berechnung der Erosionsrate [t/ha], verdeutlicht. Die Art der Bedeckung der Fläche (Gras, bzw. Kulturpflanzen) lässt eine Verminderung des Sediment- und damit verbundenen Nährstoffeintrags in der Größenordnung 1:10 zu. Eine erosionsmindernde Bodenbearbeitungspraxis, z.B. Konturpflügen, lässt eine Verminderung um ca. 25 % gegenüber dem Pflügen mit dem Hang zu.

Für den Belastungsbereich Gewässerausbau und Abflussregulierung wurde ein Konzept zur Verbesserung der Längsdurchgängigkeit der Gewässer sowie die Anbindung von Nebengewässern erarbeitet.

Es steht eine Liste der Querbauwerke und Verrohrungen für den gesamten Verlauf der Modau zur Verfügung. Diesen sind die Abstände zur nächsten Störung der Längsdurchgängigkeit und die Einzelparameter der Gewässerstrukturgütekartierung Sohlenstruktur, Rückstau, Erosion und Durchgängigkeit zugeordnet. Zur Wiederherstellung der Durchgängigkeit und Vernetzung mit den Nebengewässern sind in den einzelnen Fällen jeweils alternative Umgestaltungsmaßnahmen zu prüfen. Als Grundlage sind für die aufgelisteten Bauwerke potentiell geeignete Maßnahmen basierend auf Abfragen des Informationssystems zur Auswahl effizienter Renaturierungsmaßnahmen (ISAR) benannt (Hillenbrand und Liebert 2001).

## 6.10. Kostenwirksamkeit

Die durchgeführte exemplarische Untersuchung der verschiedenen Maßnahmen fand auf einer sehr generellen Planungsebene statt. Im Rahmen der Fallstudie kann daher lediglich eine grobe Abschätzung der Investitionskosten der untersuchten Maßnahmen auf Grundlage von Literaturwerten vorgenommen werden. Zudem ist ein Kostenvergleich der untersuchten Maßnahmen problematisch, da bei der Methodik zur Ermittlung der verschiedenen Kosten auf ein einheitliches Vorgehen zu achten ist.

Bei der Kostenwirksamkeitsanalyse wird die Abschätzung der Wirkung einer Maßnahme (Umweltentlastung) in Beziehung zu nicht monetär bewertbaren Kosten gesetzt, z.B. Kosten (€) für vermiedenen Eintrag von Nährstoffen in (kg) (Hillenbrand und Böhm 2003).

In Tabelle 36 werden Kostenrichtwerte für die betrachteten Maßnahmen (HMULF 2002; Hillenbrand und Böhm 2003; Interwies, Kraemer u.a. 2004) angegeben.

Tabelle 36: Kostenrichtwerte für untersuchte Maßnahmen

Maßnahme	Kosten	Einheit
ABKO	18000	€/ha A <sub>RED</sub>
DZVERS	5-26	€/ha
STAUR*	600-1742	€/m <sup>2</sup>
ENDPIPE	275	€/m <sup>3</sup>
mit Stauraumkanal	640	€/m <sup>3</sup>
KAUSB	20-35	€/kgPeli
UFERRA	>5	€/m <sup>2</sup>
EXTENS	195-800	€/ha
QUERBW	5000-30000	€
AUFW	200-325	€/lfm

Die Kostenwirksamkeit wird für die untersuchten Siedlungsentwässerungsszenarien des Beispiels Eberstadt dargestellt. Die Wirksamkeit

der Maßnahmen wird dabei auf Grundlage der Nutzwertanalyseergebnisse quantifiziert, indem die Verbesserung des durch die Maßnahme erreichten Nutzwertes im Vergleich zum Istzustand bestimmt wird. Aus dem Verhältnis der Kosten zur Nutzwertverbesserung folgt die Kostenwirksamkeit, siehe Tabelle 7. In den folgenden Schritten einer detaillierteren Planung ist eine genauere Betrachtung der Kosten für die Auswahl zwischen äquivalent wirksamen Alternativen durchzuführen.

Tabelle 37: Kostenwirksamkeit untersuchter Maßnahmen Eberstadt

	Nutzwert	Verbesserung Nutzwert (%)	€D
<b>IST</b>	0.72	0	
<b>DZVERS</b>	0.75	3	1.333.333.00 €
<b>STAUR</b>	0.8	8	167.625.00 €
<b>ENDPIPE</b>	0.83	11	296.545.00 €
<b>KAAUSB</b>	0.73	1	165.600.00 €

<sup>1)</sup> bezogen auf 50 Jahre

<sup>1)</sup>

## 6.11. Empfehlungspapier des Gewässerbeirats

Auf Grundlage der Ergebnisse der Maßnahmenuntersuchung und den Erkenntnissen bezüglich der Umsetzbarkeit im Einzugsgebiet der Modau aus den Diskussionen im Gewässerbeirat wurde ein Empfehlungspapier für die verbesserte Wasserbewirtschaftungsplanung im Modaugebiet erstellt. Es gibt Hinweise für die Umsetzung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen im Modaugebiet und ist eine Grundlage für die weiterführende Diskussion in den beteiligten Nutzungsbereichen mit dem Zweck die Bewirtschaftungsziele und Maßnahmen in den einzelnen Fachplanungen zu berücksichtigen.

Es gliedert sich in vier Teile. Beginnend bei einer allgemeinen Beschreibung der identifizierten Defizite und der daraus abgeleiteten Bewirtschaftungsziele für das Modaugebiet werden potentiell geeignete Maßnahmen genannt und die Ergebnisse der Maßnahmenuntersuchung dargestellt. Im Weiteren werden Empfehlungen für die einzelnen Nutzungssektoren - Kommunen, Landwirtschaft, Wasserkraft, Fischerei, Forstwirtschaft – und im Hinblick auf ein verbessertes Monitoring gegeben. Diese werden durch Erläuterungen zu prinzipiellen Wirkungsweisen, den Umsetzungsmöglichkeiten im Modaugebiet, den Kosten sowie weiterführenden Informationsquellen zur Bemessung und Planung der im Einzelnen empfohlenen Maßnahmen ergänzt.

Die Empfehlungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 38: Empfehlungen des Gewässerbeirats

Bereich	Empfehlung
Allgemein	Koordination der Fachplanungen zur Nutzung von Synergien in Bezug auf Ziele, Finanzierung und Durchsetzbarkeit
Kommunen	Modifikation der Entwässerungssysteme durch Maßnahmen zu Abflussvermeidung, -Speicherung und Behandlung
	Anpassung der Aufgaben des Wasserverbands Modaugebiet, Erweiterung der Zuständigkeit, Bündelung fachlichen Sachverständs

Landwirtschaft	Ausarbeiten konkreter Vorschläge zur Maßnahmenumsetzung
	Beratung der Landwirte zu bodenkonservierenden Bearbeitungspraktiken
	Verbesserung der Datenbasis für eine Stoffaustragsanalyse aus landwirtschaftlichen Nutzflächen
Wasserkraft	Aufnahme der Diskussion über die konkrete Umgestaltung der Querbauwerke zur Herstellung der Durchgängigkeit
Fischerei	Fortsetzung der beratenden Tätigkeit bezüglich Fragestellungen zur Durchgängigkeit, Vernetzung und Renaturierung
	Aktive Beteiligung an der Umsetzung baulicher Maßnahmen
Forstwirtschaft	Entwicklung eines abgestimmten Flächennutzungskonzepts in enger Zusammenarbeit mit anderen Sektoren und Ausweisung von Waldzuwachsflächen
Wasserverband	Umsetzung einer extensiven Gewässerunterhaltung und -pflege
	Einrichtung bepflanzter Uferrandstreifen oder Flutmulden in Abstimmung mit Land- und Forstwirtschaft
	Stufenweise Umsetzung des Konzepts zur Durchgängigkeit und Vernetzung mit Nebengewässern und alternativem Betrieb des HRB Ober-Ramstadt
	Langfristig Übernahme der koordinierten Planung und Umsetzung von Maßnahmen
Monitoring	Erweiterung des Niederschlagsmessnetzes (Kläranlagen als mögliche Standorte für Regenschreiber und Temperaturmessungen)
	Auswertbarer Betrieb des Pegels am HRB Ober-Ramstadt
	Einrichtung eines zusätzlichen Pegels an der Modaumündung
	Abflussmessung in Verbindung mit Gütemessungen
	Zusätzliche Gütemessstelle im oberen Einzugsgebiet und am Zulauf zum HRB Ober-Ramstadt / Reaktivierung der Messstelle Eberstadt, Aufwertung um kontinuierliche Messungen
	Durchführung einer umfassenden Messkampagne für die Aufnahme von Kalibrierungs- und Validierungsdaten für die Gewässergütemodellierung in einem repräsentativen Abschnitt
	Verbesserung der Daten bezüglich Fruchtfolge und Düngemittelsatz landwirtschaftlicher Nutzflächen

Als Fazit der Arbeit des Gewässerbeirats kann festgestellt werden, dass die Positionen und Interessen von anderen Nutzungsbereichen wahrgenommen, gleichgerichtete Ziele aufgedeckt und mögliche Synergien erkannt werden. Die im Forschungsprojekt WSM300 entwickelte Methodik verbessert die Transparenz und Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen und verbessert die Akzeptanz einzelner Maßnahmen.

Die Arbeit der Fallstudie Modau wird im Rahmen eines Pilotprojektes zur Umsetzung der EU-WRRRL in Hessen fortgesetzt. Der Beginn des Pilotprojekts ist der 1. Juli 2005 und schließt sich somit an das DBU-Forschungsvorhaben an. Im Rahmen des Pilotprojektes wird ein Bewirtschaftungsplan im Sinne der EU-WRRRL für das Einzugsgebiet der Modau ausgearbeitet.

Die Arbeit des Gewässerbeirates wird ebenfalls fortgeführt, wobei der Mitgliederkreis erweitert werden soll.

## 6.12. Quellen

- Ambrose, R. B., T. A. Wool, u.a. (1988). WASP4, A Hydrodynamic and Water Quality Model - Model Theory, User's Manual and Programmer's Guide. EPA/600/3-87/039. Athens.
- Arnold, J. G., R. Srinivasan, u.a. (1998). "Large area hydrologic modelling and assessment, Part I: model development." *Journal of American Water Resources Association* 34: 73-89
- BWK (2001). Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse. Düsseldorf, Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V.
- DVWK (1983). *Niedrigwasseranalyse Teil I: Statistische Untersuchung des Niedrigwasserabflusses*. Hamburg, Paul Parey Verlag.
- DVWK (1992). *Niedrigwasseranalyse Teil II: Statistische Untersuchung der Unterschreitungsdauer und des Abflußdefizits*. Hamburg, Pau Parey Verlag.
- DVWK (1999). *Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen*. Bonn, Gas und Wasser mbH.
- Hillenbrand, T. und E. Böhm (2003). *Kosten-Wirksamkeit von Maßnahmen im Bereich der Regenwasserbehandlung und -bewirtschaftung*. Karlsruhe, Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung.
- Hillenbrand, T. und J. Liebert (2001). *Kosten-Wirksamkeitsanalyse für Gewässerstrukturmaßnahmen in Hessen-Endbericht*. Karlsruhe, Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung.
- HMUEJFG und HlfU (1997). *Hessischer Gewässergütebericht 1997*. E. Hessisches Ministerium für Umwelt, Jugend, Familie und Gesundheit. Wiesbaden.
- HMULF (1999). *Erläuterungsbericht Gewässerstrukturgüte in Hessen*. Wiesbaden.
- HMULF (2001). *Hessischer Gewässergütebericht 1997 (Fortschreibung) Daten 2001*. L. u. F. Hessisches Ministerium für Umwelt. Wiesbaden.
- HMULF (2002). *Verordnung über pauschale Investitionszuweisungen zum Bau von Abwasseranlagen vom 26. April 2002 - Gesetz- und Verordnungsblatt des Landes Hessen 8.Februar 2001 Teil I*. L. u. F. Hessisches Ministerium für Umwelt.
- HMULV (2004)a. *Leitfaden für das Erkennen kritischer Gewässerbelastungen durch Abwassereinleitungen in Hessen - Begleitband (Grundlagen und Erläuterungen mit Anwendungsbeispielen)*. Wiesbaden, Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz.

- HMULV (2004)b. Leitfaden für das Erkennen kritischer Gewässerbelastungen durch Abwassereinleitungen in Hessen - Handlungsanleitung. Wiesbaden, Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz.
- Interwies, E., A. Kraemer, u.a. (2004). Grundlagen für die Auswahl der kosteneffizientesten Maßnahmenkombination zur Aufnahme in das Maßnahmenprogramm nach Artikel 11 der Wasserrahmenrichtlinie. Texte. Umweltbundesamt. Berlin, Umweltbundesamt: 250.
- Kille, K. (1979). Hochwasserwahrscheinlichkeiten in Hessen. Wiesbaden, Hessische Landesanstalt für Umwelt.
- LAWA (1998). Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland - Chemische Gewässergüteklassifikation. Berlin, Kulturbuchverlag Berlin GmbH.
- LfU (1995). Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch Rheingebiet, Teil I Hoch- und Oberrhein, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg.
- Lohr, H. (2001). Simulation, Bewertung und Optimierung von Betriebsregeln für wasserwirtschaftliche Speichersysteme. Darmstadt, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft Technische Universität Darmstadt.
- Mehler, R., A. Leichtfuss, u.a. (1998). Dokumentation des Schmutzfrachtsimulationsmodells SMUSI. Darmstadt, TU-Darmstadt, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung.
- Muschalla, D., M. Ostrowski, u.a. (2005). Integrated modelling and multi-objective evolution strategy as a method for water quality oriented optimization of urban drainage systems. 10th international conference on urban drainage, Copenhagen/Denmark, accepted.
- Ostrowski, M., M. Bach, u.a. (2004). Wassergütemodellierung der oberen Modau - Zwischenbericht II, Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung (IHWB), Technische Universität Darmstadt.
- Ostrowski, M. und K. Schröter (2004). Development of a Decision Support System for integrated water resources management in intensively used small watersheds. British Hydrological Society International Conference: Science and Practice for the 21st Century, London.
- Schütze, M., P. Willems, u.a. (2002). Integrated simulation of urban wastewater systems - how many rainfall data do we need? 9th International Conference on Urban Drainage, Protland / USA, GeoSyntec Consults.
- Schwertmann, U., W. Vogl, u.a. (1990). Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Stuttgart, Eugen-Ulmer Verlag.
- UBA (1999). Nährstoffbilanzierung der Flußgebiete Deutschlands. Texte. Berlin, Umweltbundesamt. 75.
- Union, R. d. E. (2000). Richtlinie 2000/60/EG zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft.

# 7. Schluss

## 7.1. Zusammenfassung

Das Zitat von Albert Einstein

„Alles sollte so einfach wie möglich gemacht werden, aber nicht einfacher!“

bringt den Wunsch nach Erfüllung des ökonomischen Prinzips zum Ausdruck: mit möglichst **wenig** Aufwand ein möglichst gutes Resultat zu erzielen. Das Erzielen eines guten Resultats wird als Effektivität, die Reduzierung des Aufwands als Effizienz bezeichnet.

Das ökonomische Prinzip liegt -wie der Name schon sagt- im Grunde jedem wirtschaftlichen Handeln zugrunde. Die Schwierigkeit liegt darin, das Prinzip in die Praxis umsetzen zu können, denn der tatsächliche Ausgang von Entscheidungen ist eigentlich niemals genau vorhersagbar. In den meisten Fällen weiß man nicht, ob bzw. in welchem Umfang das gewünschte Resultat erzielt wird, und ob es nicht noch einfacher (sprich: effizienter) ginge.

Gerade bei dem hier behandelten Thema, das die „Nachhaltige Entwicklung“ im Bereich der Wasserwirtschaft beschreibt, findet das -für das optimale wirtschaftliche Handeln zuständige- Management besonders schwierige Bedingungen vor. Bei der Formulierung von Strategien, die für ein gesamtes Einzugsgebiet einen gerechten Ausgleich zwischen dem Erhalt der natürlichen Gegebenheiten und dem wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Interesse an Wachstum, Entwicklung und hohem Lebensstandard schaffen, sind schließlich viele verschiedene Aspekte sowie kurz-, mittel- und langfristige Konsequenzen zu berücksichtigen und zu balancieren.

Diese Komplexität erfordert eine angemessene Unterstützung. Es muss möglich sein, auf Einzugsgebietsebene pragmatische Lösungen zu bestimmen und eine praktikable Vorgehensweise bei der Entscheidungsfindung zu wählen und dennoch den hohen Ansprüchen zu genügen.

Hierzu versucht das Projekt WSM300 die im Titel erwähnten „Verbesserten Ansätze für Wasser- und Stoffstrommanagement...“ bereitzustellen. Von herausragender Bedeutung ist dabei der Praxisbezug („alles so einfach wie möglich machen“), damit diese Entwicklungen auch auf der Ebene der kleinen Einzugsgebiete eine reelle Chance für den Einsatz bekommen und sich allmählich durchsetzen. Die Zielgruppe sind im Grunde sämtliche Gesellschaftsteile, die an der Gestaltung des Wassermanagements partizipieren (wollen), d.h.

- Behörden, die für Umsetzung der WRRL zuständig sind (LUA, StUA, WWA, Landwirtschaft, etc.)
- Landkreise und Kommunen
- Institutionen, die für den wasserwirtschaftlichen Betrieb zuständig sind (Verbände, Stadtwerke, etc.)
- Planer und wissenschaftliche Institutionen (Hydrologie, Raumplanung, Agrarwissenschaft, etc.)
- Vertreter von Gruppen, die unmittelbares Interesse an wasserwirtschaftlichen Aktivitäten haben (Naturschutz, Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Schifffahrt, Tourismus, etc.)

## Worin bestanden nun diese „verbesserten Ansätze“?

- Zunächst einmal wurden die Entscheidungsprozesse strukturiert, die zur Aufstellung von Strategien in Einzugsgebieten führen sollen. Im Gewässerbeirat bringen die „Akteure der Wasserwirtschaft“ ihre Wünsche und Vorstellungen ein.
- Der komplexe Prozess der Entscheidungsfindung erfordert einen entsprechenden methodischen Rahmen, damit eine systematische Durchführung gewährleistet ist.
- Die praktische Umsetzung der Methodik zur Aufstellung, Untersuchung und dem Vergleich verschiedener Maßnahmenvarianten erfordert einen geeigneten technischen Rahmen, ohne den die komplexen und arbeitsintensiven Arbeitsschritte nicht durchzuführen sind. Dieser unter dem Begriff Decision Support Konzept zusammengefasste technische Rahmen hilft, entscheidungsrelevante Informationen in passender Weise bereitzustellen.
- Die notwendige Funktionalität der Software für den Decision Support ist angesichts der zahlreichen Aspekte im Einzugsgebiet enorm und erfordert die kombinierte Anwendung etlicher Komponenten. Im Hinblick auf die Aufstellung der zentralen Komponente „Entscheidungsmatrix“ wurden einige selektive Softwareentwicklungen zur Steigerung der Effizienz der Analysen und Effektivität der Präsentation getätigt.
- In drei ausgewählten Fallstudien wurden Vorgehensweise und Methodik exemplarisch eingesetzt. Hieraus stehen Erfahrungsberichte für den Einsatz in anderen Einzugsgebieten zur Verfügung.

### Organisation der Entscheidungsfindung - „Akteure ins Boot holen“

Im Hinblick auf integriertes Management besteht die vordringliche Aufgabe darin, die adäquaten organisatorischen Strukturen zu schaffen. Ein Gremium („Gewässerbeirat“) zur Entwicklung von Strategien ist ins Leben zu rufen, worin nach Möglichkeit sämtliche Interessenvertreter und unbedingt die Akteure und Kontrollinstanzen einzubinden sind. Der Gewässerbeirat benötigt die Anerkennung von offizieller Seite (Behörde, Verband, etc.), so dass die erarbeiteten Empfehlungen aller Voraussicht nach in die tatsächliche Entscheidung einbezogen werden. Entsprechende Aktivitäten mit z.B. der Formulierung einer Satzung sind in der Fallstudie Modau beispielhaft durchgeführt worden.

Im Gewässerbeirat werden

- der aktuelle Zustand des Einzugsgebiets eingeschätzt,
- in Kenntnis der gesetzlichen Vorgaben und technischen Möglichkeiten Ziele formuliert,
- wiederum in Kenntnis der technischen Möglichkeiten unterschiedliche Maßnahmenvarianten aufgestellt und deren Untersuchung in Auftrag gegeben,
- anschließend deren Ergebnisse diskutiert und versucht, eine für die konkrete Umsetzung geeignete Variante zu ermitteln und zu empfehlen.

Die Mitglieder des Gewässerbeirats bestimmen den Verlauf des Entscheidungsprozesses. Sie werden begleitet von Experten, die bei der Ermittlung der notwendigen und gewünschten Informationen helfen. Diese kennen sich sowohl in fachlicher Hinsicht als auch in der Bedienung des umfangreichen Bestandes an Computerwerkzeugen aus.

### **Methodischer Rahmen für die Entscheidungsprozesse - Multikriterielle Analyse**

Es ist leicht dahergesagt, dass im Gewässerbeirat „Ziele formuliert“, „Varianten aufgestellt und untersucht“ oder „vergleichende Bewertungen durchgeführt werden“.

Diese Tätigkeiten werden mit Hilfe der Entscheidungsmatrix methodisch strukturiert, deren Zeilen und Spalten die einzelnen Ziele und Varianten repräsentieren. Das Aufstellen der Matrix wird durch umfassende Kataloge von Zielvariablen sowie technischen und strukturellen Maßnahmen unterstützt, um Alternativen gemäß dem Stand der Technik aufzeigen zu können. Mit Simulationsmodellen werden die Auswirkungen der Szenarien bestimmt und in den Zellen der Matrix eingetragen. Der systematische Vergleich von Varianten hinsichtlich unterschiedlicher Zielerfüllungen und deren Bewertung erfordert die Anwendung eines multikriteriellen Analyseverfahrens. In vielen Untersuchungen ist ein Trend hinsichtlich des „Multi Criteria Decision Making“ zu beobachten, obwohl die Umsetzung in die Praxis doch noch nicht in dem notwendigen Umfang stattgefunden hat. Multikriterielle Bewertung steckt gewissermaßen noch „in den Kinderschuhen“.

Bei sämtlichen „technisch-wissenschaftlichen“ Anwendungen sollte in dieser Phase der Untersuchungen, in der es um die Identifikation von Strategien auf einer etwas „gröberen“ Ebene geht, großer Wert auf die Allgemeinverständlichkeit und Transparenz für die Mitglieder des Gewässerbeirats gelegt werden, die über zum Teil höchst unterschiedlichen „Background“ verfügen.

In diesem Sinne kommt z.B. die Nutzwertanalyse als eine geeignete, weil relativ leicht zu erläuternde und intuitive Methode für die interaktive Anwendung im Gewässerbeirat in Frage, während manche anderen multikriteriellen Analysemethoden, die aus wissenschaftlicher Sicht durchaus für eine Bewertung in Betracht kämen oder vorzuziehen wären, die meisten Teilnehmer überfordern könnten.

### **Technischer Rahmen für die Entscheidungsprozesse „Decision Support“**

Im „methodischen Rahmen“ war die Rede von der „Entscheidungsmatrix“, „Simulationsmodellen“ oder der „multikriteriellen Analyse“. Aber irgendjemand muss ja z.B. ein Modell aufstellen, Simulationen durchführen, die Ergebnisse auswerten und in die Entscheidungsmatrix eintragen, usw. Mit Sicherheit bedarf es einer geeigneten „technischen“ Unterstützung, um die vielfältigen Tätigkeiten in der praktischen Arbeit des Gewässerbeirats überhaupt mit akzeptablem Ergebnis und vertretbarem Aufwand durchführen zu können.

Die Begriffe „Decision Support“ und „Decision Support System“ werden im Zusammenhang mit der Bearbeitung wasserwirtschaftlicher Aufgabenstellung oft strapaziert. Angesichts der Komplexität der Problematik integrierter Wasserwirtschaft ist nicht zu erwarten, die Vielfalt der relevanten Informationen im Entscheidungsprozess mit einer einzigen und dazu noch einfach zu bedienenden DSS-Anwendung beschaffen zu können. genauso wenig wie für die Simulation der unterschiedlichen Aspekte und Prozesse, die in diesem Zusammenhang in Betracht zu ziehen sind, in absehbarer Zukunft ein „universelles“ Modell zur Verfügung stehen wird. In direkter Anlehnung an einen „nachfrage- bzw. problemorientierten“ Ansatz gilt es ganz allgemein, „Decision Support“ mehr als Konzept denn als Programmanwendung zu betrachten. Es geht im Vordergrund darum, den Mitgliedern des Gewässerbeirats entscheidungsrelevante Informationen in angemessener Weise bereitzustellen. Die Vielfalt der Aufgabenstellungen erfordert den kombinierten Einsatz mehrerer Anwendungen wie z.B. das Geografische Informationssystem, die Zeitreihenverwaltung sowie Modellierung und Bewertung.

Manche einfache Analysen vermag wohl der eine oder andere versierte Anwender mit Hilfe eines Geografischen Informationssystems oder auch mit der Nutzwertanalyse durchführen können. Aber beispielsweise die Abbildung von Maßnahmenkombinationen in mitunter verschiedenen Modellen, die Simulation und anschließende Auswertung der Ergebnisse dürfte selbst einen versierten Nutzer vor größere Probleme stellen und signifikanten Aufwand nach sich ziehen. Es ist zudem auch nicht zu erwarten, dass diese Tätigkeiten infolge der Komplexität der Aufgabenstellungen in absehbarer Zeit zufrieden stellend zu automatisieren sein werden. Insofern wird die Bedienung dieser Werkzeuge in den meisten Fällen von Fachleuten mit entsprechendem Know-how zu leisten sein, die sozusagen als „unterstützende Mitglieder“ des Gewässerbeirats zu zählen sind.

Von herausragender Bedeutung für das Problemverständnis und Erlangen von Erkenntnissen ist in vielen Fällen, unterschiedliche Sachverhalte rasch und interaktiv den Personen im Gewässerbeirat demonstrieren zu können. Als Paradebeispiel hierzu kann eine zügig hintereinander ausgeführte Nutzwertanalyse unter Verwendung unterschiedlicher Nutzenfunktionen oder Gewichte dienen.

### **Ausgewählte Softwarekomponenten**

Insgesamt kann im vorliegenden Kontext „Klasse durch Masse“ entstehen, wenn es gelingt, eine größere Anzahl realistischer Varianten mit akzeptablem Aufwand durchzurechnen, diese in einer Entscheidungsmatrix übersichtlich darstellen und auf diese Weise einer systematischen Bewertung unterziehen zu können.

Der „Decision Support“ muss an vielen Stellen im Entscheidungsprozess wirksam werden. In Hinblick auf die Steigerung von Effektivität und Effizienz ausgewählter Arbeitsschritte wurden zielgerichtet einige exemplarische Softwareentwicklungen durchgeführt. Das beinhaltete im Wesentlichen

- die webbasierte Aufstellung und Bearbeitung der Entscheidungsmatrix,
- die Zeitreihenverwaltung zum Pre- und Postprocessing von Simulationsanwendungen und zur Bestimmung der Werte für aggregierte Zielvariablen,
- das Bewertungstool zur Nutzwertanalyse auf Basis von Microsoft Excel.

Des Weiteren wurde in der Fallstudie Saidenbach ein WebGIS zur Bereitstellung geografischer Informationen („Karten“) implementiert und auch in den beiden Fallstudien zur Panke und Modau internetbasierte Foren für den Gewässerbeirat und die Öffentlichkeit geschaffen.

Es wurde keine Modellentwicklung betrieben, um z.B. weitere Maßnahmen abbilden oder zusätzliche Zielvariablen berechnen zu können.

### **Fallstudien - Übertragbarkeit auf andere Einzugsgebiete**

Die in dem Projekt beschriebene Vorgehensweise und Methodik kann auf beliebige Einzugsgebiete übertragen werden. Und trotz der ursprünglichen Ausrichtung auf „kleine Einzugsgebiete“ besteht keine prinzipielle Einschränkung hinsichtlich deren Größe. Hierbei wird es natürlich vorkommen, dass z.B. ein anderer Kreis von Akteuren eine Rolle spielt, unterschiedliche Schwerpunkte gesetzt werden, höchst unterschiedliche Voraussetzungen hinsichtlich der Datenverfügbarkeit oder dem Informationsbedarf bestehen oder andere Simulationsmodelle zum Einsatz kommen. Damit müssen der „Gewässerbeirat“ und die unterstützenden Fachleute entsprechend umgehen.

Die „ersten“ Schritte können aufbauend auf den Erfahrungen aus den drei Fallstudien für die unterschiedlich gearteten Einzugsgebiete der Panke (Berlin), des Saldenbach (Erzgebirge) und der Modau (Süd Hessen) erfolgen.

Natürlich wurde in Anlehnung an das eingangs dieses Kapitels angeführte Einstein-Zitat auch bei der Erstellung dieses Berichts versucht, in optimaler Weise die Ziele und Inhalte dieses Projektes darzustellen.

Die Breite der Untersuchungen und Vielfalt der Arbeitsgebiete musste notgedrungen dazu führen, dass im Detail nicht „in die Tiefe“ gegangen werden konnte. Es kann in diesem Rahmen mit Sicherheit keine erschöpfende Auskunft gegeben werden

- welche Modelle es überhaupt gibt und wie man diese anwendet.
- welche Maßnahme von welchem Modell wie abgebildet werden kann,
- welche Bewertungsverfahren es gibt und welche Theorie „dahinter steckt“,
- wie der Stand der Software ist angesichts mitunter rasanter Weiterentwicklungen,
- u.v.m

Ganz im Gegenteil stand die ganzheitliche und ausgewogene Bearbeitung und einfache und verständliche Darstellung im Vordergrund, für die sich eine allzu theoretische und ausführliche Behandlung von Teilaspekten eher kontraproduktiv auswirkt.

Mitunter ist dabei auch etwas Toleranz des Lesers angebracht, wenn aus Gründen der Allgemeinverständlichkeit ein Begriff gemäß allgemeinem Sprachgebrauch verwendet wird (z.B. Maßnahmenprogramm, Ziel, Szenario, u.a.) der im „wissenschaftlichen Zusammenhang“ eine präzisere Definition verlangen würde.

## 7.2. Der „Erfolg“ des Projektes

Das Projekt WSM300 hatte zweifelsohne ein nicht unbeträchtliches Volumen und einen dementsprechenden Anspruch. Dem muss man natürlich den Umfang und die Komplexität der Aufgabenstellungen gegenüberhalten, die in diesem Umfeld zu bewältigen sind.

In welchem Maße ist es nun gelungen, Ideen, Konzepte und darüber hinaus auch konkrete (Weiter)Entwicklungen beizusteuern für ein besseres Management der Wasserressourcen im Einzugsgebiet? Zum Zweiten stellt sich die Frage, welche Schritte und Entwicklungen erforderlich sind, um die Umsetzung der Projektergebnisse und –erkenntnisse in die Praxis zu erreichen bzw. zu beschleunigen und weitere Verbesserungen zu erzielen.

Generell ist zu bemerken, dass es zahlreiche Projekte für die Bestimmung einer guten Strategie hinsichtlich des Managements von Einzugsgebieten mit unterschiedlicher Größe und Charakteristik gab und gibt. Das ist angesichts der Terminvorgaben der Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union nicht verwunderlich. Eine allgemeine Vorgabe zur Vorgehensweise bzw. zur Unterstützung der Aufstellung von Maßnahmenprogrammen ist indes (noch) nicht genannt. In der Regel handelt es sich um spezifische Untersuchungen und Entwicklungen, die nicht ohne weiteres auf eine andere Umgebung übertragen werden können.

Demgegenüber wurde in dem vorliegenden Projekt eine allgemeingültige „prozessorientierte“ Sichtweise gewählt. Nach der systematischen Beschreibung des „Gesamtprozesses“ ist es relativ einfach, gezielt Schwerpunkte zur Unterstützung der Entscheidungsfindung zu setzen.

Das propagierte Decision Support Konzept mit den vorgestellten Komponenten erst schafft die notwendige Flexibilität, um realistische Aufgabenstellungen bearbeiten zu können. Es muss und wird sich die Erkenntnis durchsetzen, dass gemäß den Ansprüchen an diese Tätigkeiten die Bedienung der Computeranwendungen Sache von Experten ist; es kann kein „einfaches Decision Support System“ für ein derart komplexes Aufgabenfeld geben, das sämtliche Fragestellungen abdeckt..

Die angemessene Darstellung, die z.B. das GIS ermöglicht, und schnelle interaktive Reaktion auf Fragen und Anregungen aus dem Gewässerbeirat sind von zentraler Bedeutung. Das gilt insbesondere für die Bewertung, so wie bei dem einfachen Bewertungstool (Kapitel 3.7) die Präferenzen variiert werden können und das Ergebnis unmittelbar in Grafiken zu sehen ist.

Allerdings muss zu der im Projekt entwickelten Software bemerkt werden, dass diese noch nicht den Stand für eine „Markteinführung“ erreichen konnte. Das hängt zum einen daran, dass EDV-Projekte generell schwierig zu kalkulieren und zu einem erfolgreichen Abschluss zu bringen sind. Zum anderen muss natürlich auch ein entsprechendes Umfeld gegeben sein, damit die nicht unerheblichen Vorleistungen auch Aussicht auf Erfolg haben. Hier erschweren fehlende Standards und Vorgaben die Akzeptanz von Neuerungen in der Praxis.

Aus dieser Überlegung erwächst auch die maßgebliche Erkenntnis, was dem Ganzen zum Durchbruch für die Praxis helfen kann.

Trotz der zahlreichen Arbeiten und Projekte auf diesem Gebiet verbreiten sich Ergebnisse und Erkenntnisse nur schleppend. Es ist zu beobachten, dass manche Bundesländer aufs Neue individuelle Untersuchungen durchführen (lassen) und nur wenig auf den bereits vorgestellten Methoden und Entwicklungen aufsetzen.

Von elementarer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die Formulierung entsprechender Empfehlungen mit quasi-normativem Charakter seitens anerkannter Institutionen und Fachverbände, wie z.B. der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) oder der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA). Ein „Leitfaden für die praktische Durchführung für einzugsgebietsbezogene Wasserwirtschaft in kleinen Einzugsgebieten“ oder „Das Ausgabezeitreihenformat für Simulationsmodelle“ könnten in dieser Hinsicht einen wesentlichen Schub geben.

Dass die Aktivitäten in den Fallstudien auch nach Abschluss des Projektes in ähnlicher Weise weitergehen, war im Grunde zu erwarten. Die offiziellen Stellen nutzen das „v<sub>0</sub>“ des Projektes für die weiteren Schritte und versuchen zudem, in ihrem Wirkungsbereich die Erkenntnisse und Vorgehensweise in anderen Einzugsgebieten zum Einsatz zu bringen. Beispielsweise ist in Hessen das „Pilotprojekt Modau“ {PPModau} ab Mitte 2005 eines von mehreren Pilotgebieten mit unterschiedlichen Problembereichen, um die Aufstellung der Bewirtschaftungspläne durch Erprobung verschiedener Arbeitsschritte/-felder vorzubereiten.

## 8. Quellen

- [ASCE1998] *Sustainability Criteria for Water Resources Systems*. Prepared by Task Committee on Sustainable Criteria, Water Resources Planning and Management Division American Society of Civil Engineers and Working Group of UNESCO/IHP IV Project M-4.3. American Society of Civil Engineers, 1998.
- [AGGE1990] AG Gesamtemission: *Gesamtemission aus Mischwasserentlastungen und Kläranlage*. Erster Arbeitsbericht der Arbeitsgruppe Gesamtemission, Korrespondenz Abwasser, 37. Jahrgang, Nr. 8/1990, S. 860 ff
- [ASM1986] Henze, M.; Grady C., Gujer W., Marais G., Matsuo T.: *Activated sludge model No. 1*, by IAWPRC Task Group on Mathematical Modelling for Design and Operation of Biological Wastewater Treatment, 1986.
- [ATV1999] *ATV: Handbuch zum ATV-Gewässergütemodell*. Hefen, 1999.
- [Bartelme1995] Bartelme, N: *Geoinformatik - Modelle, Strukturen, Funktionen*. Springer-Verlag Berlin, Graz, 1995, 414 Seiten, ISBN 3-54065-988-9.
- [Becker2004] Becker, A.: *Der integrative methodische Ansatz (IMA) von GLOWA-Elbe und seine Bedeutung für die Umsetzung der WRRL*. In BfG-Veranstaltungen 1/2004 „Flussgebietsbewirtschaftung – quo vadis Modellierung“.
- [Bender1996] Bender, M.J.: *A Framework for Collaborative Planning and Investigations of Decision Support Tools for Hydro Development*. Ph.D. Thesis. Univ. of Manitoba, Winnipeg, Canada, 1996.
- [Behrendt1997] Behrendt H., Korol R., Stronska-Kedzia M. & Pagenkopf W.: *Nutrient emissions of point and diffuse sources, transport and retention within the Odra Basin and its main tributaries*. Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries, Berlin, Germany, www.igb-berlin.de, 1997.
- [BehOp1996] Behrendt, H., Opitz, D.: *Ableitung einer Klassifikation für die Gewässergüte von planktondominierten Fließgewässern und Flusseen im Berliner Raum und Güteklassenbezogene Zielvorgaben zur Nährstoffreduzierung im Berliner Gewässersystem*. Berichte des IGB Heft 1, 1996.
- [BfG2000a] Bundesanstalt für Gewässerkunde: *Decision Support Systems (DSS) for river basin management*. International Workshop on 6.April 2000 in Koblenz.
- [BfG2000b] Bundesanstalt für Gewässerkunde: *Machbarkeitsstudie zum Aufbau eines Decision Support Systems (DSS)* Zusammenfassung des im Auftrag des BfG erstellten Berichts "Towards a Generic Tool for River Basin Management – Feasibility Study -, Projektgruppe Elbe-Ökologie, 2000.
- [BfG2002] Bundesanstalt für Gewässerkunde: *Mathematisch-numerische Modelle in der Wasserwirtschaft - Handlungsempfehlung für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten*. Mitteilungen, Koblenz, Mai 2002.

- [Bill1994] Bill, R.: *Grundlagen der Geoinformationssysteme*. Heidelberg 1994, ISBN 3-879-07265-5.
- [BMU1997] *Stand und Einsatz mathematisch-numerischer Modelle in der Wasserwirtschaft*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Arbeitskreis „Mathematische Flußgebietsmodelle“, 1997.
- [BoxJen1994] Box, G.E.P., Jenkins, G.M. und Reinsel, G.C.: *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. 3<sup>rd</sup> ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs 1994, ISBN 0-130-60774-6.
- [BreElam1986] Brennan, J.J., und Elam, J.J.: *Understanding and Validating Results in Model-Based Decision Support Systems*. *Decision Support Systems* 2(1986), 49-54.
- [Brundt1987] Brundtland, G. (ed.): *Our common future: The World Commission on Environment and Development*. Oxford University Press, 1987, ISBN 0-192-82080-X.
- [BWK M3] *Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse*. Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V., 2003, ISBN 3-936015-00-7.
- [BWK M3 Leit] *Leitfaden zur detaillierten Nachweisführung immissionsorientierter Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen gemäß BWK-Merkblatt M3*. Bericht der BWK AG 2.3, 2004.
- [CoR1973] Meadows, D. u.a.: *Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit*. Rowohlt Verlag, 1973, ISBN 3-421-02633-5.
- [Davis1974] Davis, G.: *Information Systems: Conceptual Foundations, Structure, and Development*. 1974
- [Davis1988] Davis, M.W.: *Applied Decision Support*. Prentice Hall. Englewood Cliffs, 1988.
- [DHI1995] *Handbuch MIKE-SHE*. Danish Hydraulic Institute, Kopenhagen, 1995.
- [DIN4049] DIN 4049, Teil 1: *Hydrologie; Begriffe, Grundbegriffe und Wasserkreislauf*. - 12S.; Berlin, 1992.
- [DIN69901] DIN 69901: *Projektmanagement, Begriffe*. Berlin, 1987.
- [Durch1989] Durchschlag, A.: *Bemessung von Mischwasserspeichern im Nachweisverfahren*. Schriftenreihe f. Stadtentwässerung und Gewässerschutz, Band 3, SUG-Verlag, Hannover, 1989.
- [EisWeb1999] Eisenführ, F. und Weber, M.: *Rationales Entscheiden*. Springer, Berlin, 1999, ISBN 3-540-44023-2
- [EK1998] *Konzept Nachhaltigkeit - Vom Leitbild zur Umsetzung*. Empfehlungen der Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung " des 13. Deutschen Bundestages, 1995-1998.
- [ElbeDSSZB] *Pilotphase für den Aufbau eines Entscheidungsunterstützungssystem (DSS) zum Flusseinzugsgebietsmanagement am Beispiel der Elbe*. Zwischenbericht, Abschluss Phase 1. Im Auftrag der BfG/Projektgruppe Elbe Ökologie, BMBF Forschungsvorhaben FKZ 339542A.1.

- [EPA1998] *Dokumentation zum Programm BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources) Version 2.0* U.S. Environmental Protections Agency, Washington DC, USA, 1998.
- [Erosion1996] Schmidt J., von Werner M., Michael A., Schmidt W.: *Erosion 2D/3D: Ein Computermodeill zur Simulation der Bodenerosion durch Wasser*. Freistaat Sachsen, Landesanstalt für Landwirtschaft, 1996
- [Foll96] Graham, P. (Ed.): *Mary Parker Follett: Prophet of Management : A Celebration of Writings from the 1920s.*, Harvard Business School Press (September 1996), ISBN 0-875847366.
- [FedJam1996] Fedra, K., Jamieson, D.G.: *The Waterware Decision Support System for river basin planning: 2. Planning capability*. Journal of Hydrology 177, 199-211, 1996
- [Gren2000] Grendel, P.: *mySAP.com – Business Intelligence der neuen Generation*. IT-Director 9/2000.
- [Grigg1998] Grigg, N. S.: *Coordination: The Key to Integrated Water Management*. Water Resources Update, Issue No. 111, 1998, Universities Council on Water Resources, Carbondale, Illinois.
- [Gro1999] Grober, U.: *Der Erfinder der Nachhaltigkeit*. in: DIE ZEIT Nr. 48/ 25.11.1999, S. 98.
- [Grüt1999] Grütznert, R.: *Informatik im Umweltschutz* 1999. [usedom.informatik.uni-rostock.de/~ns/gruetzner/Ringvorlesung/](http://usedom.informatik.uni-rostock.de/~ns/gruetzner/Ringvorlesung/)
- [HahnEng2000] Hahn, B., Engelen, G.: *Concepts of DSS Systems. Decision Support Systems(DSS) for river basin managment*. International Workshop on 6 April 2000 in Koblenz, Veranstaltungen Bundesanstalt für Gewässerkunde 4/2000.
- [Hydrotec 1998] *Handbuch Programm NASIM Version 2.6.4* Hydrotec GmbH, Aachen, 1998.
- [HYSTEXT2005] *Hydrodynamische Berechnung städtischer Kanalnetze*. Version 6.5, 2005, Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie GmbH , Hannover, [www.itwh.de](http://www.itwh.de).
- [IFGI2004] Möltgen, J. und Petry, D. (ed.): *Interdisziplinäre Methoden des Flussgebietsmanagements*. Workshopbeiträge 15./16. März 2004, Schriftenreihe des Instituts für Geoinformatik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, ISBN 3-936616-21-3.
- [JamFed1996a] Jamieson, D.G., Fedra, K.: *The Waterware Decision Support System for river basin planning: 1. Conceptual design*. Journal of Hydrology 177, 163-175, 1996.
- [JamFed1996b] Jamieson, D.G., Fedra, K.: *The Waterware Decision Support System for river basin planning: 3. Example applications*. Journal of Hydrology 177, 177-198, 1996.
- [KeyPeet1996] de Keyser, W. und Peeters, P.: *A note on the use of PROMETHEE multicriteria methods*. European Journal of Operational Research, 89 (1996).
- [KOSIM2002] *KOntinuierliches LangzeitSIMulationsmodell für den Nachweis von Bauwerken der Regenwasserbehandlung, Regenwasserbewirtschaftung und Regenwasserrückhaltung*. Version 6.3, 2002, Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie GmbH , Hannover, [www.itwh.de](http://www.itwh.de).

- [KuK1999] Kahlenborn, W., Kraemer, A.: Nachhaltige Wasserwirtschaft in Deutschland. , Abschlussbericht, 1999.
- [Laux2003] Laux, H.: *Entscheidungstheorie*, 5. Auflage, Berlin u.a., Springer, 2003.
- [LAWA1998a] *Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland - Chemische Gewässergüteklassifikation*. LAWA Konzepte und Strategien - Oberirdische Gewässer. Berlin, Kulturbuch-Verlag. 1998
- [LAWA1998b] *Gewässerbewertung - stehende Gewässer - Vorläufige Richtlinie für eine Erstbewertung von natürlich entstandenen Seen nach trophischen Kriterien*. LAWA Empfehlungen - Oberirdische Gewässer. Berlin, Kulturbuch-Verlag. 1998
- [LAWA2004] *Bestandsaufnahme nach WRRL: Vorgehensweise und Ergebnisse*. Workshop der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser EUF Bonn III, Siegburg, April 2004.
- [Lei1998a] Leichtfuß, A.: *Application of Simulation models for integrated water resources management*. Proc. of the IAWQ-conference *application of models in water management.*, Amsterdam, 24-25 Sept. 1998.
- [Lei1998b] Leichtfuß, A.: *Concepts and Developments for Simulation-based Decision Support in Water Resources Management*. Proc. of the 1<sup>st</sup> Int. Conf. on New Information Technologies for Decision Making in Civil Eng., Montreal, 11-13 Okt. 1998, (2) 933-944.
- [Lei2001a] Leichtfuß, A.: *How to find the Path between Development and Sustainability*. Proc. of the World Water and Environmental Resources Congress, Orlando, Florida, 20-24 Mai 2001.
- [Lei2001b] Leichtfuß, A.: *Decision Support für integrierte Wasserwirtschaft – Anforderungen, Stand der Wissenschaft und Technik, Ausblicke*. Tagungsband zum Darmstädter Wasserbauliches Kolloquium 2000 (in Vorbereitung).
- [Lohr2000] Lohr, H.: *Simulation Model TALSIM*. International Workshop on 6 April 2000 in Koblenz, Veranstaltungen Bundesanstalt für Gewässerkunde 4/2000.
- [LouCos1991] Loucks, D. P., da Costa, J. R. (eds.): *Decision Support Systems: Water Resources Planning*. Proceedings of the NATO Advanced Workshop on Computer-Aided Support Systems for Water Resources, Research and Management, Ericeira, Portugal, 24-28 Sept., 1990). New York, Springer.
- [Mak1994] Makowski, M.: Design and implementation of model-based Decision Support Systems. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). WP-94-86, 1994.
- [MehOs1999] Mehler, R., Ostrowski, M.W.: *Comparison of the Efficiency of Best Stormwater Management Practices in Urban Drainage Systems*. Wat. Sci. Tech. Vol. 39, No.9, 269-276., 1999
- [Mehler2000] Mehler, R.: *Mischwasserverfahren - Verfahren und Modellierung*. Dissertation am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, TU Darmstadt, 2000.
- [MerzBuck1997] Merz, R. und W. Buck: *Verfahren zur Entscheidungsfindung bei Mehrfachzielsetzung sowie Zielsysteme und Zielkriterien für die Planung und Bewertung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen*. Bericht im Auftrag des Deutschen

- Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK), Fachausschuß 1.7 "Projektplanungs- und Bewertungsverfahren", Arbeitskreis "Mehrkriterienverfahren". Karlsruhe 1997.
- [MerzBuck1999] Merz, R. und W. Buck: *Integrierte Bewertung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen.*, DVWK-Materialien 1/1999, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK), Bonn, 144.
- [MofSar2006] Moffett, A., Sarkar, S.: *Incorporating multiple criteria into the design of conservation area networks: a minireview with recommendations.* Diversity and Distributions (2006 12, 125-137, Blackwell Publishing.
- [MOUSE2005] *Professional engineering software tool for the simulation of hydrology, hydraulics, water quality and sediment transport in urban drainage and sewer systems.* DHI Water & Environment, Hørsholm, [www.dhisoftware.com](http://www.dhisoftware.com).
- [Morton1971] Morton, M.S.S.: *Management Decision Systems: Computer-based Support for Decision Making.* Harvard Univ., 1971.
- [Os1982] Ostrowski, M.W.: *Ein Beitrag zur kontinuierlichen Simulation der Wasserbilanz,* Mitteilungen des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft, RWTH Aachen, Heft 42, 1982.
- [Os1992] Ostrowski, M.W.: *Ein universeller Baustein zur Simulation hydrologischer Prozesse.* In: Wasser und Boden, Heft 11 (1992), p. 755ff.
- [Os1997] Ostrowski, M.W.: *Improving sustainability of water resources systems using the group decision support system STEEL-GDSS.* 1997. [www.tu-darmstadt.de/fb/bi/wb/ihwb/Mitarbeiter/ostrowski/steel\\_ds/](http://www.tu-darmstadt.de/fb/bi/wb/ihwb/Mitarbeiter/ostrowski/steel_ds/).
- [OsOb1997] Ostrowski, M.W., Obermann, I.: *Grundlagen und Werkzeuge zur ganzheitlichen wasserwirtschaftlichen Planung,* Wasser und Boden, 49. Jahrg. Heft 5, 1997.
- [OsJam1998] Ostrowski, M.W., James, W.: *Requirements for group decision support systems for urban storm water management,* Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Developments in Urban Drainage Modelling, London, 1998.
- [Ott1995] Otterpohl, R.: *Dynamische Simulation zur Unterstützung der Planung und des Betriebes kommunaler Kläranlagen.* Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an d. RWTH Aachen, 1995.
- [Price2000] Price, K. R.: *Hydroinformatics and urban drainage. An agenda for the beginning of the 21<sup>st</sup> century.* Journal of Hydroinformatics 02/2000.
- [PROM1984] Brans, J.P., Mareschal, B, Vincke, Ph.: *PROMETHEE: A new family of outranking methods in multicriteria analysis.* Operational Research, pp. 477-490, 1984
- [Rauch1998] Rauch, W.; Alderink H., Krebs P., Schilling W., Vanrolleghem P.: *Requirements for integrated Wastewater Models Driven by Receiving Water Objectives.* Water, Science & Technology, Vol. 38, No. 11 pp. 97-104, 1998.
- [Reichm1996] Reichmann, Th.: *Controlling '96: Informationssysteme gestalten die Zukunft.* Tagungsband zum 11. Deutschen Controlling Congress, München 1996.
- [Rentz1998] Rentz, O.; Geldermann, J.; Jahn, C.; Spengler, T.: *Vorschlag für eine medienübergreifende Bewertungsmethode zur Identifikation der „Besten*

- Verfügbaren Techniken“ BVT im Rahmen der Arbeiten der Europäischen Kommission. Bericht im Rahmen des Forschungsvorhaben Nr. 10905006, Umweltbundesamt 1998*
- [Rolf1998] Rolf, A.: *Herausforderungen für die Wirtschaftsinformatik*. Informatik-Spektrum 21 (259-264). Springer-Verlag, 1998.
- [Ruh2004] Ruhland, A.: *Entscheidungsunterstützung zur Auswahl von Verfahren der Trinkwasseraufbereitung an den Beispielen Arsenentfernung und zentrale Enthärtung*. Dissertation am FG Wasserreinigung der TU Berlin, 2004.
- [SchliStreit1991] Schlittgen, R. und Streitberg, B.H.J.: *Zeitreihenanalyse* Oldenbourg, München, Wien, 1991, ISBN 3-486-25725-0.
- [Schuh2001a] Schuh, H.: *Entscheidungsorientierte Umsetzung einer nachhaltigeren Entwicklung - Empirische Analyse, theoretische Fundierung und Systematisierung am Beispiel der natürlichen Ressource Wasser*. dissertation.de - Verlag im Internet GmbH, Dissertation an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Technischen Universität Dresden, ISBN: 3-89825-295-7
- [Schuh2001b] Schuh, H.: *Entscheidungsverfahren zur Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung*. Dresdner Beiträge zur Betriebswirtschaftslehre Nr. 45/01, ISSN 0945-4810.
- [Schultz1993] Schultz, G.A.: *Wasserwirtschaftliche Planungen*. In: Hans Bretschneider u.a. (Hrsg.): Taschenbuch der Wasserwirtschaft, Springer, Hamburg, 1993.
- [Sieker2000] Sieker, H.: *Generelle Planung der Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten*. Mitteilungen des Institutes für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Universität Dresden, Heft 116, 2000.
- [SimBen1996] Simonovic, S., Bender, M.J.: *Collaborative planning-support system: an approach for determining evaluation criteria*, Journal of Hydrology 177, 237-251, 1996.
- [SMUSI1998] IHWB: *Dokumentation SMUSI 4.0* Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, TU Darmstadt, 1998.
- [SprCar1982] Sprague, R.H., Carlson, E.D.: *Building Effective Decision Support Systems*. Eaglewood Cliffs, New Jersey. Prentice-Hall, 1982.
- [Stach1973] Stachowiak, H.: *Allgemeine Modelltheorie*, Wien 1973. ISBN 3-211-81106-0.
- [STORM2006] *Modell zur Schmutzfrachtsimulation*. Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH, Hoppegarten, [www.sieker.de](http://www.sieker.de).
- [UBA2002] Umweltbundesamt: *Nachhaltige Entwicklung in Deutschland – Die Zukunft dauerhaft umweltgerecht gestalten*. Beiträge zur nachhaltigen Entwicklung, 2002, Erich Schmidt Verlag, ISBN 3-503-06650-0.
- [UBA2004] Umweltbundesamt: *Umweltpolitik: Die Wasserrahmenrichtlinie – Ergebnisse der Bestandsaufnahme 2004 in Deutschland*. 2005, [www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/).
- [UFZ1999] Umweltforschungszentrum Leipzig: *River Basin Management – Challenge to Research*. 1999

- [WatKin1995] Watkins, Jr., D.W., McKinney, D.C.: *Recent developments associated with decision support systems in water resources*. American Geophysical Union, 1995, [earth.agu.org/revgeophys/](http://earth.agu.org/revgeophys/).
- [Weller1999] Weller, T.: *Werkzeuge und Methoden zur Optimierung der Leistungsfähigkeit von Entlastungsanlagen in urbanen Entwässerungssystemen*. Diplomarbeit (Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, TU Darmstadt). 1999.
- [WFD2003] *Guidance document 7 - Monitoring under the Water Framework Directive*. Water Framework Directive Common Implementation Strategy Working Group 2.7 Monitoring, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, 2003.
- [WMS2006] *OpenGIS® Web Map Server Implementation Specification*. Open Geospatial Consortium Inc., Ref.: OGC® 06-042, Version 1.3.0, 2006.
- [WSM300KA] Leichtfuß, A. et al.: *Entwicklung eines Decision Support Systems für die integrierte wasserwirtschaftliche Planung in kleinen Einzugsgebieten*. KA-Abwasser, Abfall 2003 (50) Nr.2, 213-217.
- [Yev1995] Yevjevich, V.: *Effects of Area and Time Horizons in Comprehensive and Integrated Water Resources Management*. Water Science & Technology, 31(8) 1995, 1-8.
- [Zang1976] Zangemeister, C.: *Nutzwertanalyse in der Systemtechnik - Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen*, 1970 (4. Auflage 1976 [ISBN 3-923-26400-3](https://www.isbn-international.org/view/title/3923264003))
- [Zielke1999] Zielke W. (Hrsg.): *Numerische Modelle von Flüssen, Seen und Küstengewässern*. Schriftenreihe des DVWK, Nr. 127, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser, Bonn, 1999.
- [ZimGut1991] Zimmermann, H.-J. und Gutsche, L.: *Multi-Criteria Analyse. Einführung in die Theorie der Entscheidungen bei Mehrfachzielsetzungen*. Springer, Berlin, 1991, ISBN 3-540-54483-6.

## 8.1. Internet

{Agenda21}	UN Department of Economic and Social Affairs – Division for Sustainable Development: <a href="http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/english/agenda21toc.htm">www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/english/agenda21toc.htm</a>
{ArcHydro}	GIS Water Resources Consortium - ArcGIS Hydro Data Model: <a href="http://www.crrw.utexas.edu/giswr/hydro">www.crrw.utexas.edu/giswr/hydro</a>
{ElbeDSSDok}	Dokumentation zum Entscheidungsunterstützungssystem für die Elbe: <a href="http://www.usf.uni-osnabrueck.de/projects/elbe_dss/">www.usf.uni-osnabrueck.de/projects/elbe_dss/</a>
{ELISE}	Elbe Informationssystem: <a href="http://elise.bafg.de">elise.bafg.de</a>
{EUWater}	Europäische Kommission - Water policy in the European Union: <a href="http://europa.eu.int/comm/environment/water">europa.eu.int/comm/environment/water</a>
{DHITemp}	Danish Hydraulic Institute, Temporal Analyst - Time Series Data Management and Analysis for ArcGIS: <a href="http://www.dhigroup.com/Software/WaterResources/TemporalAnalyst.aspx">www.dhigroup.com/Software/WaterResources/TemporalAnalyst.aspx</a>
{DSSHistory}	„A Brief History of Decision Support Systems” by D.J. Power: <a href="http://dssresources.com/history/dsshistory.html">dssresources.com/history/dsshistory.html</a>
{EUWRRL}	Europäische Kommission - The EU Water Framework Directive - integrated river basin management for Europe: <a href="http://ec.europa.eu/comm/environment/water/water-framework/index_en.html">ec.europa.eu/comm/environment/water/water-framework/index_en.html</a>
{GISFormate}	GIS-Management-Homepage – GIS-Datenaustauschformate: <a href="http://www.gismngt.de/format/format.htm">www.gismngt.de/format/format.htm</a>
{GISRundTisch}	Runder Tisch GIS e.V.: <a href="http://www.rtg.bv.tum.de">www.rtg.bv.tum.de</a>
{GISTutor}	Das GIS-Tutorial: <a href="http://www.gis-tutor.de">www.gis-tutor.de</a>
{HELP}	Environmental Laboratory des U.S. Army Corps of Engineers: <a href="http://el.ercd.usace.army.mil">el.ercd.usace.army.mil</a>
{IIASA}	International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA): <a href="http://www.iiasa.ac.at">www.iiasa.ac.at</a>
{LAWA}	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser: <a href="http://www.lawa.de">www.lawa.de</a>
{NachhaltRat}	Rat für Nachhaltige Entwicklung (im April 2001 von der Bundesregierung ins Leben gerufen): <a href="http://www.nachhaltigkeitsrat.de">www.nachhaltigkeitsrat.de</a>
{NatureVal}	Projektmanagement für das Wageningen University & Research Center: <a href="http://topshare.wur.nl">topshare.wur.nl</a>

{OpenGIS}	Open Geospatial Consortium: <a href="http://www.opengeospatial.org">www.opengeospatial.org</a>
{PPModau}	WRRL-Pilotprojekte des Hessischen Ministeriums für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz: <a href="http://interweb1.hmulv.hessen.de/umwelt/wasser/wrrl/umsetzung">interweb1.hmulv.hessen.de/umwelt/wasser/wrrl/umsetzung</a>
{PROMETHEE}	Universität Karlsruhe – Institut für Industriebetriebslehre und industrielle Produktion: <a href="http://www-iip.wiwi.uni-karlsruhe.de/forschung/technik_html/lehre/ip1/PROMETHEE.pdf">www-iip.wiwi.uni-karlsruhe.de/forschung/technik_html/lehre/ip1/PROMETHEE.pdf</a>
{SWMM}	EPA Storm Water Management Model (SWMM): <a href="http://cee.oregonstate.edu/swmm">cee.oregonstate.edu/swmm</a>
{TotalWater}	“Computer Models for Integrated Hydrosystems Management” (Larry W. Mays, Department of Civil and Environmental Engineering, Arizona State University): <a href="http://www.public.asu.edu/~lwmais/comp_mod.htm">www.public.asu.edu/~lwmais/comp_mod.htm</a>
{UBA}	Umweltbundesamt: <a href="http://www.umweltbundesamt.de">www.umweltbundesamt.de</a>
{Umweltinf}	Universität Hamur, Arbeitsbereich „Angewandte und sozialorientierte Informatik“: <a href="http://asi-www.informatik.uni-hamburg.de/research/umwelt">asi-www.informatik.uni-hamburg.de/research/umwelt</a>
{Umweltrat}	Sachverständigenrat für Umweltfragen: <a href="http://www.umweltrat.de">www.umweltrat.de</a>
{W3Org}	World Wide Web Consortium: <a href="http://www.w3.org">www.w3.org</a>
{Wasserblick}	Bund-Länder-Informations- und Kommunikationsplattform: <a href="http://www.wasserblick.net">www.wasserblick.net</a>
{Wikipedia}	Freie Enzyklopädie Wikipedia: <a href="http://de.wikipedia.org">de.wikipedia.org</a>
{WRRLNRW}	WRRL - Ministerium für Umwelt- und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen: <a href="http://www.flussgebiete.nrw.de">www.flussgebiete.nrw.de</a>
{WRRLSA}	EG-WRRL – Umsetzung in Sachsen-Anhalt: <a href="http://www.wrrl-st.de">www.wrrl-st.de</a>
{WSM300}	Homepage des Projektes: <a href="http://www.wsm300.de">www.wsm300.de</a>
{WWWModau}	TU Darmstadt, Internetseiten des Fachgebiets IHWB zur Modau: <a href="http://www.tu-darmstadt.de/modau/">www.tu-darmstadt.de/modau/</a>
{WWWPankis}	Informations- und Kommunikationsplattform zur Panke: <a href="http://www.pankis.de">www.pankis.de</a>
{WWWsaid}	Projekthomepage des Kooperationspartners Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft: <a href="http://www.smul.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/ffl/Fachinformationen/Ressourcenschutz/1114.htm">www.smul.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/ffl/Fachinformationen/Ressourcenschutz/1114.htm</a>