

Texte

**19**  
**07**

ISSN  
1862-4804

## Ökologische und ökonomische Vergleichsbetrachtung zwischen dem Konzept der konventionellen Regenwasserentsorgung und dem Konzept der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung

Umwelt  
Bundes  
Amt 

Für Mensch und Umwelt

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 203 26 391  
UBA-FB 001001



**Ökologische und ökonomische  
Vergleichsbetrachtung zwischen  
dem Konzept der konventionellen  
Regenwasserentsorgung und dem  
Konzept der dezentralen  
Regenwasserbewirtschaftung**

von

**Univ. Prof. a.D. Dr. Ing. F. Sieker  
Dipl. Ök. P. Schlottmann  
Dipl. Ing. U. Zweynert**

Universität Hannover  
Fakultät Bauingenieur- und Vermessungswesen  
Institut f. Wasserwirtschaft , Hydrologie und landwirtschaftlichen  
Wasserbau, Hannover

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter  
<http://www.umweltbundesamt.de>  
verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten  
und Meinungen müssen nicht mit denen des  
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Postfach 14 06  
06813 Dessau  
Tel.: 0340/2103-0  
Telefax: 0340/2103 2285  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet III 3.5  
Bernd Kirschbaum  
Dr. Ulrich Hagendorf

Dessau, Juni 2007

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einführung.....</b>	<b>9</b>
<b>2. Anforderungen und Zielgrößen der Regenwasserbewirtschaftung ..</b>	<b>12</b>
2.1. Überblick .....	12
2.2. Ökologische Anforderungen .....	12
2.2.1. Momentane Anforderungen.....	12
2.2.2. Weitergehende Anforderungen .....	13
2.3. Ökonomische Anforderungen .....	17
2.3.1. Das Systemmanagement .....	21
2.3.2. Der Evaluationswürfel.....	23
2.4. Zusammenfassung bestehender und zukünftig zu erwartender Anforderungen an die Regenwasserbewirtschaftung.....	26
<b>3. Methodisches Vorgehen .....</b>	<b>28</b>
3.1. Anlagendimensionierung und Ermittlung von Wasser- und Stoffkomponenten .....	28
3.1.1. Überblick .....	28
3.1.2. Bemessung dezentraler Regenwasserbewirtschaftungsanlagen .....	28
3.1.3. Ermittlung von Wasserbilanzen .....	30
3.1.4. Prüfung der hydraulischen Gewässerbelastung.....	31
3.1.5. Berechnung stofflicher Gewässerbelastungen.....	31
3.1.6. Ermittlung von Spitzenabflüssen (Verhalten bei Starkniederschlags- ereignissen) .....	32
3.2. Systemtheoretische Kriterien .....	34
3.2.1. Überblick .....	34
3.2.2. Funktionsorientierung statt Produktorientierung .....	35
3.2.3. Optimierung der Effizienz .....	36
3.2.4. Optimierung des Ressourceneinsatzes .....	37
3.2.5. Kleineräumige Diversität .....	38
3.3. Konsequenzen für die Abwasserwirtschaft aus Sicht des Systemmanagements .....	39
<b>4. Neubau- und Erweiterungsgebiete .....</b>	<b>42</b>
4.1. Besonderheiten von Neubau- und Erweiterungsgebieten.....	42
4.2. Detailbetrachtungen für ein geplantes Wohngebiet in Kupferzell .....	43
4.2.1. Untersuchungsgebiet/ Problemstellung .....	43
4.2.2. Varianten .....	44
4.2.3. Anforderungsebene „vor Ort“ .....	45
4.2.4. Anforderungen an das Regenwasser für das „Einzugsgebiet der Erlaubniserteilung“.....	46
4.2.5. Anforderungen an das Regenwasser bei „Einleitung in ein Oberflächengewässer“ .....	47

4.2.6.	Anforderungen an Einleitung in Boden und Grundwasser .....	50
4.3.	Ökonomischer Variantenvergleich .....	50
4.3.1.	Bewertung .....	51
4.3.2.	Alternativensystemwert .....	52
4.3.3.	Homogenität.....	52
4.3.4.	Multidimensionaler Zielerfüllungsgrad .....	54
4.3.5.	Das Kreissektordiagramm .....	54
4.3.6.	Anwendung auf das Gebiet Kupferzell.....	55
4.3.7.	Das Nutzwert-Wirtschaftlichkeitsdiagramm .....	59
4.3.8.	Scoring .....	60
4.3.9.	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	60
4.4.	Eigenheimsiedlung Pflost .....	62
4.4.1.	Untersuchungsgebiet/ Problemstellung .....	62
4.4.2.	Varianten .....	62
4.4.3.	Wasserbilanz.....	63
4.4.4.	Hydraulische Belastung.....	64
4.4.5.	Stoffliche Gewässerbelastung .....	64
4.4.6.	Vergleich der Abflussspitzen .....	66
4.4.7.	Ökonomische Variantenanalyse .....	66
4.5.	Gewerbegebiet Flughafen Münster/Osnabrück .....	69
4.5.1.	Untersuchungsgebiet/ Problemstellung .....	69
4.5.2.	Varianten .....	70
4.5.3.	Wasserbilanz.....	71
4.5.4.	Stoffliche Gewässerbelastung .....	72
4.5.5.	Vergleich der Abflussspitzen .....	73
4.5.6.	Ökonomische Variantenanalyse .....	74
4.6.	Beispiel Gewerbegebiet Dahlwitz- Hoppegarten .....	76
4.7.	Beispiel Halle .....	77
4.7.1.	Untersuchungsgebiet/ Varianten .....	77
4.7.2.	Problemstellung.....	77
4.7.3.	Ökologische Vergleichsbetrachtung .....	78
4.7.4.	Ökonomische Variantenanalyse .....	78
4.8.	Schlussfolgerung für Neubau- und Erweiterungsgebiete .....	81
5.	Bestandsgebiete .....	82
5.1.	Besonderheiten von Bestandsgebieten .....	82
5.2.	Beispiel Würzburg .....	83
5.2.1.	Untersuchungsgebiet/ Problemstellung/ Istzustand .....	83
5.2.2.	Zielgrößen .....	84
5.2.3.	Varianten .....	85
5.2.4.	Ökonomische Variantenanalyse .....	86
5.3.	Beispiel Nettebach.....	88
5.3.1.	Untersuchungsgebiet/ Problemstellung .....	88
5.3.2.	Varianten .....	88

5.3.3.	Ökologische Vergleichsbetrachtung .....	88
5.3.4.	Ökonomische Variantenanalyse .....	89
5.4.	Betrachtung vollständiger Einzugsgebiete .....	91
5.5.	Schlussfolgerung für Bestandsgebiete .....	92
6.	Zusammenfassung der Ergebnisse und Empfehlungen .....	94
7.	Literatur .....	101
8.	Anhang zu den ökonomischen Untersuchungen.....	106
8.1.	Erweiterter Kriterienkatalog mit Bewertungsrichtlinien.....	106
8.2.	Bewertungsrichtlinien .....	106

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Anwendungsfälle für die Regenentwässerung .....	10
Abb. 2: Die vier Anforderungsebenen für Regenwasser.....	14
Abb. 3: Wirkung unterschiedlicher Entwässerungsverfahren auf den Wasserhaushalt .....	15
Abb. 4: Der Evaluationswürfel.....	23
Abb. 5: Speichervolumen von Mulden-Rigolen-Elementen bei konstantem $k_f$ -Wert ( $2,78 \cdot 10^{-6}$ m/s) für $A_{\text{red}}=0,1$ ha und drei Niederschlagsstationen mit unterschiedlichen zeitlichen Niederschlagsverläufen.....	29
Abb. 6: Speichervolumen von Mulden-Rigolen-Elementen bei gleichen Niederschlags- bedingungen (Jahresniederschlag 725mm) und variierenden $k_f$ - Werten .....	29
Abb. 7: Zusammenhang zwischen Speichervolumen von Mulden-Rigolen-Elementen und $k_f$ -Wert des Bodens.....	30
Abb. 8: Verhalten unterschiedlicher Systeme bei Starkniederschlägen .....	34
Abb. 9: Überschlägige Wasserbilanz für den potentiell natürlichen Zustand nach Angaben aus dem hydrologischem Atlas Deutschland .....	44
Abb. 10: Wasserbilanz des Bebauungsgebietes vor und nach der Bebauung.....	46
Abb. 11: Wiederkehrzeiten von Spitzenabflüssen der verschiedenen Varianten .....	50
Abb. 12: Kupferzell, dezentrale Variante.....	56
Abb. 13: Kupferzell, konventionelle Variante .....	57
Abb. 14: Kupferzell, semi-dezentrale Variante.....	58
Abb. 15: Nutzwert-Wirtschaftlichkeitsdiagramm des Neubaugebietes Kupferzell. ....	61
Abb. 16: Geplante Wohnbebauung „Pflost“ (aus Entwurf Bebauungsplan „Pflost“) .....	62
Abb. 17: Wasserbilanz des Bebauungsgebietes vor und nach der Bebauung.....	63
Abb. 18: Wiederkehrzeiten von Spitzenabflüssen im Untersuchungsgebiet Pflost .....	66
Abb. 19: Nutzwert-Wirtschaftlichkeitsdiagramm des Neubaugebietes Pflost. ....	68
Abb. 20: Abbildung des geplanten Gewerbegebiet FMO im Modell STORM [IPS] .....	70
Abb. 21: Wasserbilanzen der verschiedenen Untersuchungsvarianten .....	71
Abb. 22: Mit dem Oberflächenabfluss in die Gewässer eingetragene AFS-Fracht .....	72
Abb. 23: Wiederkehrzeiten von Spitzenabflüssen.....	74
Abb. 24: Nutzwert-Wirtschaftlichkeitsdiagramm Münster/Osnabrück.....	76
Abb. 25: Nutzwert-Wirtschaftlichkeitsdiagramm des Neubaugebietes Halle-Ost .....	80
Abb. 26: Wasserbilanz des Gebietes Zellerau in Würzburg im Istzustand und im potentiell natürlichen Zustand.....	84
Abb. 27: Günstigstes Ergebnis für die Komponenten des Wasserhaushaltes mit Var.D .....	86
Abb. 28: Nutzwerte der verschiedenen Varianten.....	87
Abb. 29: Nutzwert-Wirtschaftlichkeitsdiagramm des Bestandsgebiets Nettebach .....	90

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Anwendungsfälle und Systemmerkmale der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung .....	10
Tab. 2: Stoffkonzentrationen für verschiedene Flächennutzungen [Grottker, 1987] .....	32
Tab. 3: Reinigungsleistung bei Bodenpassage (Versickerung) .....	32
Tab. 4: Überlaufmengen eines Rigolen Elementes bei Starkniederschlägen.....	33
Tab. 5: Untersuchungsvarianten .....	44
Tab. 6: In die Kupfer eingeleitete Wassermengen und Stofffrachten (Mittlere Jahreswerte aus Langzeitsimulation abgeleitet) .....	48
Tab. 7: In den Boden eingeleitete Stofffrachten.....	49
Tab. 8: Gesamtfracht aus dem Einzugsgebiet (Einleitung in Gewässer und GW/ Boden).....	49
Tab. 9: Kennwerte des Neubaugebietes Kupferzell.....	59
Tab. 10: Einmal jährlich auftretende Abflussmenge HQ1 .....	64
Tab. 11: Oberflächlich in die Gewässer eingetragene mittlere jährliche Frachten .....	65
Tab. 12: In Grundwasser- und Boden eingetragene mittlere jährliche Frachten .....	65
Tab. 13: Mittlere jährliche Gesamtfrachten (Direkteinleitung und Versickerung).....	65
Tab. 14: Angenommene Schmutzkonzentrationen im Regenwasser sowie Reinigungsleistung bei Bodenpassage (Durchsickerung von Bodenfilter oder Mulden).....	72
Tab. 15: Stoffeintrag in die Gewässer .....	73
Tab. 16: Stoffeintrag in Grundwasser und Boden sowie gesamte Stofffrachten .....	73
Tab. 17: Kostenaufteilung des Neubau-Industriegebietes Halle-Ost .....	79
Tab. 18: Ergebnisse der verschiedenen Varianten .....	85



## Abkürzungsverzeichnis

Im Folgenden werden einige in dieser Arbeit eingeführte Abkürzungen und deren Bedeutung erläutert

Abkürzung	Erläuterung
MRE	Mulden-Rigolen-Elemente <u>ohne</u> Ableitungskomponente („unvernetzte“ Bewirtschaftungselemente)
MRS	Mulden-Rigolen-System = Bewirtschaftungselemente <u>mit</u> Ableitungskomponente („vernetzte Bewirtschaftungselemente)
TRENN +BECKEN	Konventionelle Ableitung im Trennsystem mit Rückhaltebecken
MRS + kl. BECKEN	Kombination eines Mulden-Rigolen-Systems mit kleinem Becken
MoZeg	Monetärer Zielerfüllungsgrad = Zielerfüllungsgrad einer Planungsvariante (in %) hinsichtlich der Kosten (Investitionsbarwerte), bezogen auf die mit 100 % bezeichnete Variante mit den geringsten Kosten
MuZeg	Multidimensionaler Zielerfüllungsgrad = Bewertungsergebnis einer Planungsvariante (in %) hinsichtlich der Gesamtheit aller monetär nicht bewertbaren Kriterien einer Planungsvariante der Regenwasserbewirtschaftung. MuZeg wird aus den Größen ASW und Hg gebildet.
ASW	AlternativSystemWert = Durchschnittsbewertung aller monetär nicht bewertbaren Kriterien auf einer Skala zwischen 0-100 %
Hg	Homogenitätswert = Kennzeichnung der Unterschiedlichkeit bzw. der Homogenität der Bewertung der einzelnen monetär nicht bewertbaren Kriterien einer Planungsvariante der Regenwasserbewirtschaftung
Scoring	Zusammenfassung des monetären und multidimensionalen Zielerfüllungsgrades durch Produktbildung. Umfassendste Bewertung einer Planungsvariante hinsichtlich monetärer und monetär nicht bewertbarer Kriterien.

## 1. Einführung

Dem folgenden Bericht liegt der Projektantrag des Institutes für Wasserwirtschaft der Universität Hannover an das Umweltbundesamt vom 23.10.2004 zugrunde. Der Antrag wurde mit Schreiben vom 15.11.2004 bewilligt.

Die bisherige Form der Regenwasserentsorgung beruht auf dem Grundsatz, die Regenabflüsse so schnell und so vollständig wie möglich über Kanalisationen aus den Siedlungsgebieten abzuleiten. Dieses Konzept wird aus ökologischen und ökonomischen Gründen zunehmend in Frage gestellt. Als Alternative bietet sich das „Konzept der dezentralen Bewirtschaftung“ an, das inzwischen in seinen technischen Ausführungsdetails weitgehend ausgereift ist. Derzeit existiert jedoch noch keine zusammenfassende Vergleichsbetrachtung über die ökologischen und ökonomischen Aspekte beider Konzepte. Mit dem vorliegenden Projekt soll diese Lücke geschlossen werden.

Fehlende Anforderungen für Regenwasser als eine Abwasserart führen momentan in den verschiedenen Bundesländern zu uneinheitlichen gesetzlichen Regelungen (siehe Kapitel 2.1.1.). Die vorliegende Vergleichsbetrachtung soll daher auch als Diskussionsgrundlage für Vereinbarungen zwischen Bund und Ländern über die Ausfüllung des §7a WGH im Hinblick auf die künftige Regenwasserbewirtschaftung dienen.

An ausgewählten Praxisbeispielen wird geprüft, mit welchen Systemen sich heutige und zukünftig zu erwartende Anforderungen an die Niederschlagsbewirtschaftung erfüllen lassen, wobei auch die Kosten berücksichtigt werden.

Als konventionelle Varianten werden die Regenwasserableitung im Trenn- und Mischsystem betrachtet. Demgegenüber stehen dezentrale Bewirtschaftungskonzepte, die in einer Vielzahl technischer Varianten ausführbar sind. In Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten wird das gesamte Niederschlagswasser, oder ein wesentlicher Teil davon, versickert (mit oder ohne ober- und unterirdischer Zwischen-speicherung). Unterschieden werden die Systemmerkmale „vernetzt“ und „unvernetzt“, wodurch ausgedrückt wird, ob eine vollständige Versickerung (unvernetzt), oder eine Teilversickerung mit gedrosselter Ableitung stattfindet (vernetzt).

Es werden die drei Anwendungsfälle „eigenständige Neubaugebiete“, „Bestandsgebiete“ und „Erweiterungsgebiete“ betrachtet (Abb. 1). Diese Unterscheidung ist wich-

tig, da in allen drei Fällen unterschiedliche Ziele und Zielgrößen zu verfolgen sind, die sich auf den ökobilanziellen und ökonomischen Vergleich der Konzepte auswirken.

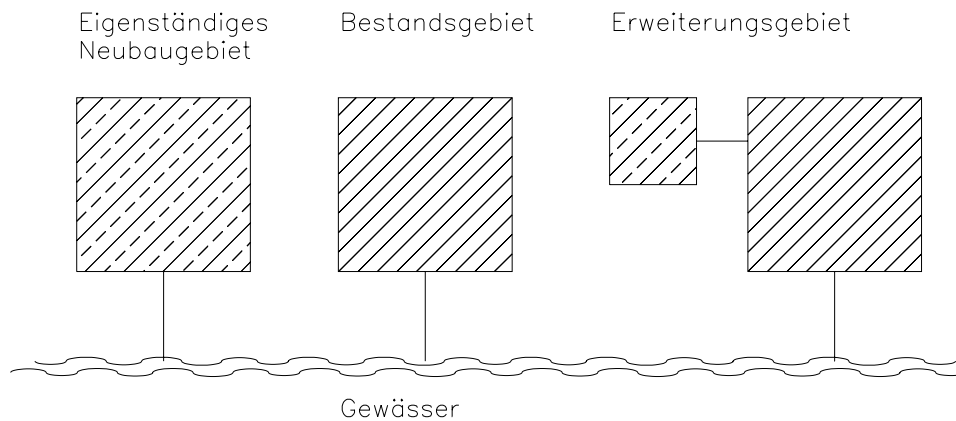


Abb. 1: Anwendungsfälle für die Regenentwässerung

Damit ergeben sich sechs Varianten, für die jeweils an einem Beispielgebiet der ökologische und ökonomische Vergleich einer konventionellen mit einer dezentralen Lösung durchgeführt wird (Tab. 1). Für einzelne Gebiete sind durchaus mehrere Lösungen denkbar (z.B. unvernetzt/vernetzt), die sich wiederum in ihren Auswirkungen auf Umwelt und Kosten unterscheiden.

Bei den Neubau- und Erweiterungsgebieten wird obligatorisch unterstellt, dass es sich bei dem zum Vergleich herangezogenen konventionellen Ableitungssystem jeweils um ein Trennsystem handelt. Bei den vorhandenen Entwässerungssystemen der Bestandsgebiete wird ein konventionelles Mischsystem vorausgesetzt.

Tab. 1: Anwendungsfälle und Systemmerkmale der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung

Anwendungsfall/Systemmerkmal	unvernetzt	vernetzt
Neubaugebiet	1	2
Erweiterungsgebiet	3	4
Bestandsgebiet	5	6

Die Vielzahl der Varianten und die inhaltlichen Besonderheiten der so genannten „Abkoppelungsmaßnahmen“ in Bestandsgebieten machten eine Zweiteilung der Projekt-

bearbeitung erforderlich: Im Teilprojekt 1 (FKZ 203 26 391/01) wurde schwerpunktmäßig der in der Praxis künftig häufig anzuwendende Fall der „Hydraulisch unvollständigen Abkoppelungsmaßnahmen in Mischwasser-Bestandsgebieten“ untersucht und mit konventionellen Sanierungsmaßnahmen bei Mischwassersystemen verglichen (vgl. Endbericht zu diesem Projekt vom 20.02.2004). Im Teilprojekt 2 (FKZ 203 26 301/02) werden insbesondere die Maßnahmen der dezentralen Bewirtschaftung – vernetzt und unvernetzt - in Neubau- und Erweiterungsgebieten mit konventionellen Trennsystemen verglichen. Bei den untersuchten Bestandsgebieten dieses Berichts handelt es sich im Istzustand um Mischsysteme. Die Gesamtergebnisse sind in diesem Bericht zusammengefaßt.

Für jeden Vergleichsfall werden typische Beispiele aus der Praxis gewählt, dabei wurde auf bereits vorhandene Projekte zurückgegriffen. Da die Aufgabenstellung vorliegender Projekte die Fragestellung des ökonomischen und ökologischen Vergleichs oft nur teilweise abhandelten, war es notwendig, umfangreiche weitere Berechnungen und Untersuchungen für die Beispielgebiete im Rahmen des Vorhabens durchzuführen.

## **2. Anforderungen und Zielgrößen der Regenwasserbewirtschaftung**

### **2.1. Überblick**

Obwohl Regenwasser, das von befestigten Flächen gesammelt, abgeleitet und in Gewässer eingeleitet wird, und somit laut Gesetz Abwasser ist [AbwAG 1996], existieren bisher auf Bundesebene keine Anforderungen an die Behandlung und Bewirtschaftung von Regenwasserabflüssen. Dies ist umso unverständlicher, als die niederschlagsbedingten Stoffeinträge in die Gewässer deutlich über den durch häusliches und industrielles Schmutzwasser verursachten Einträgen liegen [Sieker, F. 2003; Brombach, H., Fuchs, St. 2003].

In Landeswassergesetzen wird in teilweise sehr unterschiedlicher Weise versucht, diese ordnungspolitische Lücke zu schließen. Dadurch existiert deutschlandweit eine Vielzahl von unterschiedlichen Anforderungen an Regenwassereinleitungen, die sich sowohl auf zulässige Konzentrationen als auch auf zulässige Wassermengen beziehen.

Auf unterschiedlichen Ebenen werden Vorschläge zum Umgang mit Regenwasser diskutiert [DWA, A 100, 2005; BWK M3 1999]. Dabei zeichnet sich ab, dass die Besonderheiten der Abwasserart Regenwasser zu Forderungen führt, die über die für andere Abwasserarten feststehenden Regelungen hinaus gehen. Insbesondere das Problem der mengenmäßigen Einleitung von Niederschlagswässern und die damit verbundene Verzerrung des Wasserhaushaltes steht in der Diskussion.

### **2.2. Ökologische Anforderungen**

#### **2.2.1. Momentane Anforderungen**

Unter „momentanen Anforderungen“ werden die Minimalanforderungen verstanden, die für ein bebautes (oder zu bebauendes) Gebiet in Deutschland hinsichtlich der Regenwasserbewirtschaftung/-entsorgung aktuell gelten. Die vorhandenen Vorschriften berücksichtigen nur selten ökologische Zielgrößen. Hauptaugenmerk liegt fast ausschließlich darauf, für Siedlungs- und Verkehrsflächen eine ausreichende Sicherheit gegen Überflutung und Vernässung zu gewährleisten. Für Gebiete, die im Mischsys-

tem entwässert werden, muss zur Zeit ein erforderliches Gesamtspeichervolumen nachgewiesen werden. Dabei darf eine zulässige Jahresentlastungsrate der CSB-Fracht nicht überschritten werden [ATV-A 128 1992]. Problematisch ist, dass im Normalfall eine reine Emissionsbetrachtung durchgeführt wird und insbesondere der hydraulische Einfluss von Mischwassereinleitungen für ein Gewässer unberücksichtigt bleibt. Nachteilig ist weiterhin die verfahrensgebundene, ausschließlich auf den Nachweis von Speichervolumina orientierte Vorgehensweise, durch welche z.B. die positiven Auswirkungen dezentraler Maßnahmen entweder nicht berücksichtigt oder deutlich unterschätzt werden.

Für Niederschlagswassereinleitungen aus Trennsystemen ist kein zwingender Nachweis erforderlich. Häufig werden jedoch im Rahmen der Hochwasservorsorge Rückhaltebecken gebaut, die einer hydraulischen Überlastung des Gewässers vorbeugen sollen. Für die mit dem Niederschlagswasser eingetragenen Stofffrachten (z.B. abfiltrierbare Stoffe) existieren nur selten Einleitungsbeschränkungen.

### **2.2.2. Weitergehende Anforderungen**

In Zukunft sind deutlich höhere Anforderungen an die Regenwasserbewirtschaftung und -einleitung in Gewässer zu erwarten. Grund dafür ist eine geänderte wasserwirtschaftliche Sichtweise, die eine integrierende Betrachtung gesamter Flusseinzugsgebiete fordert und eine Betrachtung der Entwässerungssysteme, unabhängig von Einzugsgebiet und Vorfluter, ablehnt [WRRL 2000].

Innerhalb des UBA- Forschungsprojektes „Regen(ab)wasserbehandlung und –bewirtschaftung unter Berücksichtigung der Anforderungen nach §7a WHG und einer möglichst ortsnahe Versickerung“ [Sieker, F., et al. 2004] wurden vier „Anforderungsebenen“ als Vorschlag für die Neuordnung der Regen(ab)wasserbewirtschaftung in Deutschland definiert. Bei der Untersuchung der Beispielgebiete (Kap. 4 und 5) wird u.a. geprüft, ob und mit welchem Verfahren zur Regenabwasserbewirtschaftung/-entsorgung diese Anforderungen eingehalten werden können. Die 4 Anforderungsebenen (Abb. 2) werden im Folgenden kurz vorgestellt.

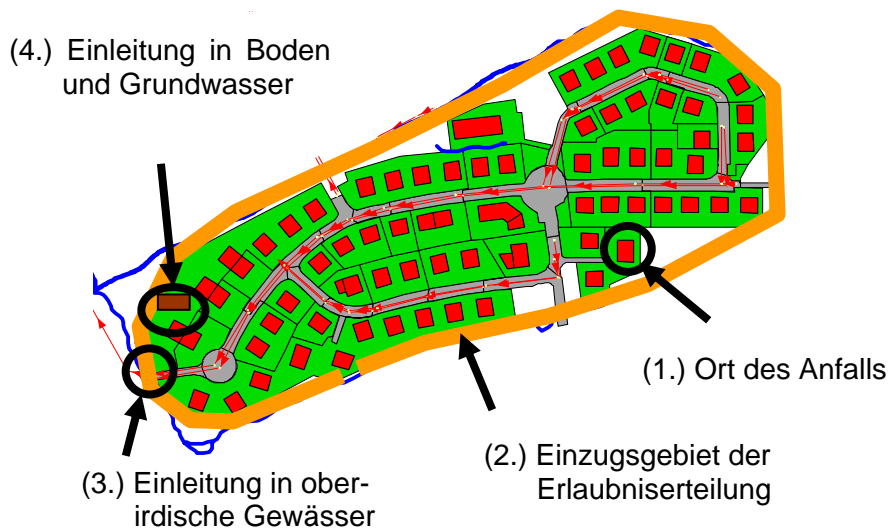


Abb. 2: Die vier Anforderungsebenen für Regenwasser

### 1. Anforderungen an Regenwasser „vor Ort“

Eine Verunreinigung des Niederschlagswassers am Ort des Anfalls muss so weit wie möglich vermieden werden. Zu berücksichtigende Einflussfaktoren sind dabei:

- die Flächennutzung und Nutzungsintensität (z.B. Verkehrsdichte auf Straßen)
- das Material oder die Belagsart der Flächen (z.B. Kupferdächer, bituminöse Materialien) [UBA Sachstandsbericht]
- die Lage und Entfernung zu möglichen Emissionsquellen

Die notwendigen Anforderungen beziehen sich neben der Qualität auch auf die anfallende Wassermenge, welche jedoch nur durch eine Begrenzung der Flächenversiegelung oder Dachbegrünungen beeinflusst werden kann. Außerdem darf das oft nur gering verunreinigte Regenwasser nicht mit anderen Abwasserarten vermischt werden (Vermischungsgebot). Dies erfordert eine getrennte mengenmäßige Bewirtschaftung und gegebenenfalls Reinigung des Regenwassers.

### 2. Anforderungen an das Regenwasser für „Einzugsgebiet der Erlaubniserteilung“

Die Versiegelung von Flächen bleibt nicht ohne Folgen für den Wasserhaushalt. Aufgrund fehlender Versickerung geht die Grundwasserneubildung zurück (der Basisabfluss der Gewässer verringert sich) und auch die Verdunstung wird verändert. Damit verschlechtert sich u.a. das Stadtklima und der erhöhte Oberflächenabfluss kann zu einer Verschärfung der Hochwassersituation führen.

Die unterschiedliche Wirkung verschiedener Systeme zur Regenabwasserableitung/-bewirtschaftung auf den Wasserhaushalt soll an einer 1ha großen Testfläche beispielhaft demonstriert werden. Ausgegangen wurde von einem natürlichen Wasserhaushalt (unbebaute Fläche), bei dem 38% des Niederschlages versickern, 50% verdunsten und 12% oberflächlich abfließen. Dem natürlichen Zustand (0% Versiegelungsgrad) wurde eine vollständige Versiegelung (100%) gegenübergestellt (Zwischenwerte wurden vernachlässigt). Die Werte wurden anhand einer Langzeitsimulation mit dem Modell STORM [IPS] ermittelt. Betrachtet wurde eine Ableitung im Trennsystem, eine vollständige Versickerung, eine Bewirtschaftung durch ein Gründach und eine partielle Versickerung mit gedrosseltem Abfluss (Abb. 3).

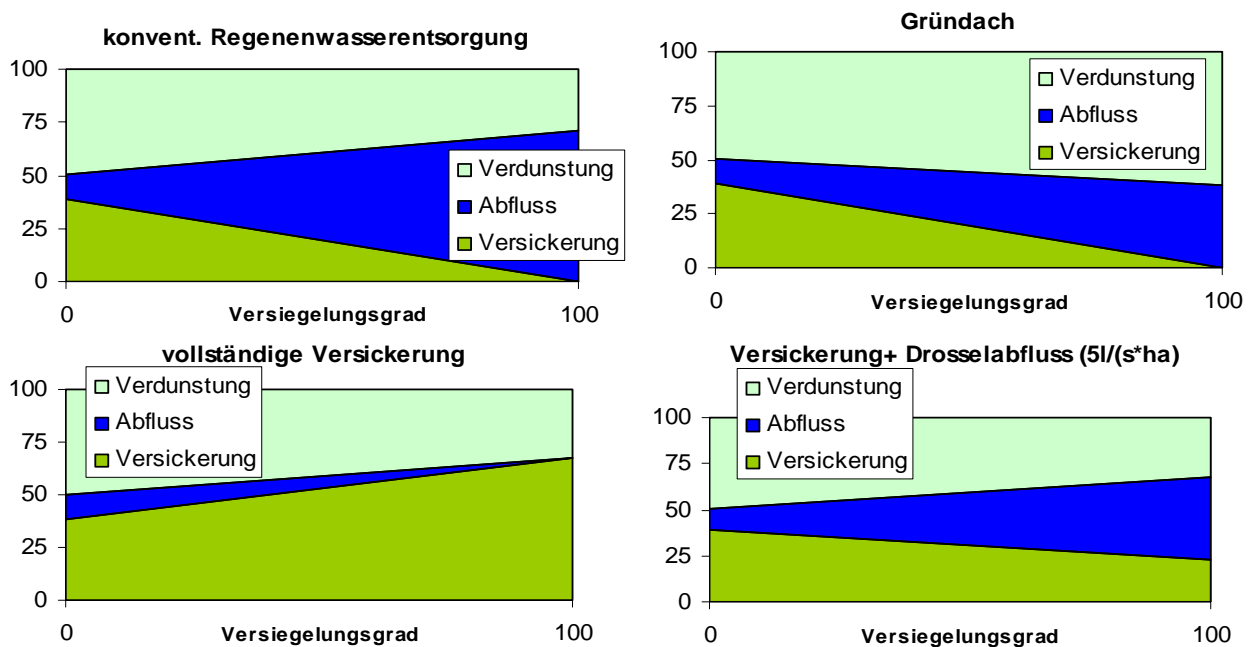


Abb. 3: Wirkung unterschiedlicher Entwässerungsverfahren auf den Wasserhaushalt

Am auffälligsten ist der übermäßige Anstieg des direkten Abflusses bei Verwendung der konventionellen Regenwasserentsorgung. Das natürliche Abflussgeschehen eines Einzugsgebietes kann mit einem konventionellen System der Regenwasserentsorgung nicht nachgebildet werden. Während die natürliche Wasserbilanz in Abhängigkeit von Standorteigenschaften (z.B. Durchlässigkeit des Bodens, Temperatur, Niederschlagsmenge) durchaus variieren kann, ergibt sich für das konventionelle System daraus keine Konsequenz. Ist die Versickerung aufgrund guter Bodendurchlässigkeiten hoch, wird sie nach der Bebauung des Gebietes deutlich verringert. Liegt dagegen ein



schwer durchlässiger Boden, dafür jedoch eine hohe Verdunstung vor, wird nach der Bebauung die Verdunstung deutlich verringert sein.

Bezüglich des Abflusses gegenteilig verhält sich das System, in dem die Niederschläge vor Ort vollständig versickert werden. Die versickerte Wassermenge steigt gegenüber dem natürlichen Zustand an, der Abfluss wird auf Null reduziert, die Verdunstung wird etwas verringert.

In der Praxis können örtliche Gegebenheiten (Bodendurchlässigkeit, Grundwasserstand, vorhandene Freiflächen) die Versickerungsmöglichkeiten einschränken und eine gedrosselte Ableitung erfordern. Dabei kann sich der Abfluss gegenüber dem unbebauten Zustand erhöhen. Das geht verstärkt zu Lasten der Verdunstung, aber auch die versickerte Wassermenge wird etwas geringer.

Eine Bewirtschaftung des Niederschlagswassers mit Hilfe von Gründächern bringt insbesondere für die Verdunstung positive Effekte. Es kann jedoch nur ein Teil der Niederschläge verdunstet werden, sodass es zu einer erhöhten Abflussmenge kommt, auch die fehlende Versickerung muss beachtet werden.

Als Anforderung für das Einzugsgebiet der Erlaubniserteilung gilt, dass der Wasserhaushalt einer versiegelten Fläche nicht gravierend von dem Wasserhaushalt der unbebauten Fläche abweichen darf. Für Abfluss und Versickerung wurden Veränderungen von 10 Prozentpunkten, für die Verdunstung von 20 Prozentpunkten als tolerierbar vorgeschlagen [Sieker et al. 2004].

### 3. Anforderungen an die Einleitung von Regenwasser in oberirdische Gewässer

Kann nicht der gesamte Niederschlag im Einzugsgebiet bewirtschaftet werden, muss die überschüssige Wassermenge in ein Gewässer eingeleitet werden. Dabei soll der Wasser- und Stoffhaushalt des oberirdischen Gewässers so wenig wie möglich beeinträchtigt werden. Folgende Aspekte sind bei der Einleitung von Regenwasser in ein Gewässer von Bedeutung :

- Hydraulischer Stress
- Niedrigwasserabfluss
- Abflussbeschleunigung
- Spitzenabflüsse

- Abflusssdosis
- Stofffrachten und Konzentrationen (AFS, TOC, Cu, Pb, Zn)

Als Zielgröße für die Praxis haben sich der einjährige Hochwasserabfluss (HQ1) und auf stofflicher Seite die abfiltrierbaren Stoffe (AFS) als geeignete Kontrollparameter herausgestellt. Für den HQ1 wird eine Erhöhung um 10% gegenüber dem unbebauten Zustand toleriert [BWK-M3 1999]. Als maximal zulässige Stofffracht wurde ein Grenzwert von 200 kg/(ha\*a) vorgeschlagen [Sieker, F., et al. 2004]. Der Parameter ist insbesondere geeignet, da eine Vielzahl von Wasserinhaltsstoffen mit dem Parameter AFS korreliert. Entscheidend ist, dass die Belastbarkeit eines Gewässers anhand von Immissionsbetrachtungen untersucht wird.

Obwohl der Hochwasserschutz keine primäre Aufgabe der Siedlungsentwässerung ist, wird die Auswirkung verschiedener Entwässerungslösungen auf Starkregenabflüsse für die Untersuchungsgebiete geprüft.

#### 4. Anforderungen an Einleitung von Regenwasser in Boden und Grundwasser

Ein verringerter Stoffeintrag in die Oberflächengewässer (siehe Anforderungsebene 3) darf zu keiner Stoffverlagerung in den Boden oder das Grundwasser führen. Bei der Einleitung von Niederschlagswasser in Boden und Grundwasser müssen die Anforderungen der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung [BbodSchG 1999] eingehalten werden (Geringfügigkeitsschwellenwerte).

### **2.3. Ökonomische Anforderungen**

Aus ökonomischer Sicht sind bei einem Vergleich der konventionellen Ableitung und der dezentralen Bewirtschaftung des Regenwassers primär die Kosten und Nutzen, die von beiden Verfahren hervorgerufen werden, ausschlaggebend. Gegenwärtig erfolgt der Vergleich unterschiedlicher Maßnahmen auf betriebswirtschaftlicher Ebene anhand von Kostenbetrachtungen, die auf Basis statischer Vergleichsrechnungen durchgeführt werden. Gegebenenfalls wird dieser Vergleich durch dynamische Kostenaspekte (z.B. dynamische Gestehungskosten) ergänzt.

Vor der Einführung dezentraler Methoden der Bewirtschaftung des Regenwassers wurde dem gesamtgesellschaftlichen Nutzen der unterschiedlichen Verfahren keine besondere Bedeutung beigemessen.

Eine Evaluierung der Nutzenaspekte verschiedener Verfahren wurde in der Praxis kaum durchgeführt. Die unmittelbare Ableitung des Niederschlagswassers wurde als Stand der Technik verstanden. Wie vorstehend dargestellt, fehlte ein ordnungspolitischer Rahmen auf Bundesebene, der als Orientierungshilfe bei der Verfahrensauswahl hätte dienen können. Diese Aufgabe wurde von der DWA übernommen. Das von der DWA formulierte Regelwerk stellte Planern und Ingenieuren mit Merkblättern und Hinweisen das Entscheidungsinstrumentarium für die Beurteilung und Implementierung der Verfahren zur Verfügung. Die unterschiedlichen Methoden konventioneller Maßnahmen und das Regelwerk der DWA entwickelten sich parallel. Dezentrale Verfahren fanden lange Zeit nur wenig Berücksichtigung, da sie kaum angewendet wurden.

Bei einem Alternativenvergleich wurde fast ausschließlich der betriebswirtschaftliche Preis der konventionellen Alternative als ausschlaggebendes Kriterium angesehen. Erst bei Kostengleichheit wurden Nutzenaspekte als weitere Unterscheidungsmerkmale herangezogen. So heißt es in den Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen der Landesarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA):

„Wenn Alternativen von den Kosten her gleich zu beurteilen sind, verlagern sich die Entscheidungskriterien auf etwaige Leistungsunterschiede oder sonstige verschieden zu bewertende Gegebenheiten (Verfügbarkeit der Anlage, Betriebssicherheit, Aspekte der Flexibilität etc.). Diese neben den Kosten in der Entscheidungsfindung zu berücksichtigenden Fakten sind in solchen Fällen besonders herauszuarbeiten und in die Argumentation einzuführen.“ [LAWA 1998].

Da Nutzenäquivalenz vorausgesetzt wurde, bot sich das Verfahren der Kostenvergleichsrechnung zur Evaluierung der Wirtschaftlichkeit an. Der Vorteil dieses statischen Verfahrens zur Evaluierung der Wirtschaftlichkeit besteht in der vergleichsweise einfachen Durchführbarkeit, sofern die Ermittlung der relevanten Daten keine Schwierigkeiten bereitet [Götze, U./Bloech, J. 1995]. Der grundsätzliche Mangel statischer Bewertungsverfahren ist darin zu sehen, dass zeitliche Unterschiede im Auftreten von Einnahmen und Ausgaben gar nicht oder nur unvollständig berücksichtigt werden. Der Gegenwartswert von Einnahmeüberschüssen oder –fehlbeträgen aus Investitionen hängt aber nicht nur von deren nomineller Höhe ab. Es ist ebenso wichtig, wann diese zeitlich anfallen [Schierenbeck, H. 2000].

Die Aussagefähigkeit statischer Verfahren ist umso geringer, je stärker sich die Investitionsalternativen im Vorteilsvergleich - was die Entwicklung ihrer Kapitalbindung und Überschüsse im Zeitablauf betrifft - unterscheiden und je weniger man von gleichbleibenden Verhältnissen ausgehen kann. Des Weiteren schränken die Rahmenbedingungen, die erfüllt sein müssen, damit die Kostenvergleichsrechnung angewendet werden kann, die Aussagekraft des Verfahrens weiter ein. Wie oben bereits angesprochen, wird den Investitionsalternativen Nutzenäquivalenz unterstellt [LAWA 1998]. Diese Annahme spiegelt jedoch nicht die Realität wider.

Mit Markteinführung dezentraler Bewirtschaftungsmethoden des Regenwassers traten innovative Verfahren in Konkurrenz zu den etablierten Ableitungssystemen, die ein völlig anderes Nutzenprofil aufwiesen.

Dezentrale Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung können sich deutlich positiver z.B. auf die Grundwasserneubildung, den Gewässer- und Hochwasserschutz und das Mikroklima auswirken, als Maßnahmen der direkten Ableitung des Niederschlagswassers. Aufgrund ihrer Verfahrensmerkmale lassen sie sich oftmals ressourcenschonender implementieren und betreiben. Dieses führt zu niedrigeren betriebswirtschaftlichen Kosten, z.B. in Form von eingesparten Gebühren für das Niederschlagswasser, und vermiedenen volkswirtschaftlichen Kosten, z.B. durch Hochwasserschäden oder sinkende Grundwasserpegel.

Dem adaptiven Potenzial dezentraler Technologien kommt angesichts der vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) erstellten Wetterprognose für Nordeuropa eine erhebliche Bedeutung zu: „Die Wissenschaftler erwarten häufigere und schwerere Trockenperioden, ähnlich den Dürren in den Jahren 2003 und 2005. Solche Trockenperioden erhöhen die Waldbrandgefahr. Höhere Temperaturen und der Rückgang der Schneedecke verändern den Jahresverlauf und die Menge des Wassers in den Flüssen: Generell wird eine geringere Wasserführung im Sommer und mehr Wasser im Winter erwartet. Dies erhöht die Gefahr von Überschwemmungen...“[PIK 2005].

Ernteauffälle, Waldbrände und Überschwemmungen stellen in diesem Zusammenhang die Faktoren dar, die zu enormen Kosten für die Wirtschaft führen können. Dezentrale Anlagen können aufgrund ihres Verdunstungspotenzials einem trockenen Kleinklima entgegenwirken und vermindern so das Risiko von potenziellen Waldbränden. Gleichzeitig vermindert die Kombination aus Speicher- und Rückhaltevolumen das

Entstehen von Überschwemmungen und das Hochwasserrisiko bei Starkregenereignissen.

Die für Deutschland prognostizierten Bevölkerungswanderungen machen die Relevanz der Reversibilität von Technikmerkmalen deutlich [Wuppertalinstitut 2004]:

Obwohl innerhalb der urbanen Zentren ca. 40.000 Hektar ehemals gewerblicher oder industriell genutzter Fläche brachliegen, zeigt sich ein Migrationstrend, der aus den Ballungsräumen herausführt. Für die Wasserwirtschaft bedeutet das eine ressourcenintensive Implementierung von Technik in Neubaugebieten. Dagegen liegen die Infrastrukturen in den Abwanderungsgebieten brach und verursachen hohe Kosten. Das Deutsche Institut für Urbanistik beziffert den Investitionsbedarf der Wasserwirtschaft in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2009 auf 214 Mrd. Euro [Difu 2002]. Die Enquete-Kommission „Globalisierung der Weltwirtschaft“ geht sogar von einem Betrag in Höhe von 350 Mrd. Euro innerhalb des Zeitraumes 2000 bis 2010 aus [Enquete-Kommission 2001]. Der Investitionsbedarf der Abwasserwirtschaft übersteigt den der Versorgung hier um ein Vielfaches (BMW 2001).

Die Höhe des Kapitalbedarfs erfordert geradezu einen Paradigmenwechsel, da die Umweltbelastungen der verschiedenen Methoden der Regenwasserbewirtschaftung sich nicht in den Investitionskosten niederschlagen und heute meist von der Allgemeinheit getragen werden.

Diese intangiblen sozialen Kosten werden bei der Kostenvergleichsrechnung nicht berücksichtigt. Aus diesem Grund wird analog zu der Nutzengleichheit ebenfalls eine Äquivalenz der sozialen Kosten aller Investitionsmöglichkeiten unterstellt. Es wird offensichtlich, dass diese Annahmen in der Realität nicht zutreffen. So fordert die LAWA in ihren KVR-Leitlinien: „In die Kostenvergleichsrechnung zur Beurteilung öffentlicher Investitionsvorhaben sind – soweit veranlasst – neben den direkten Kosten des Maßnahmeträgers auch die Belastungen Dritter (indirekte Kosten, Sozialkosten) einzustellen.“ [LAWA 1998].

Die Kostenvergleichsrechnung kann nur Aussagen bezüglich der relativen Vorteilhaftigkeit einer Investitionsoption treffen. Sie liefert demnach ausschließlich Informationen darüber, ob von mehreren Alternativen, mit denen eine normative Zielvorgabe erreicht werden kann, eine Alternative geringere Kosten aufweist als die anderen. Hierbei werden jedoch nicht sämtliche Kosten erfasst [Schierenbeck, H. 2000].

Es liegt die Vermutung nahe, dass für ein komplexes System, wie es die Abwasserwirtschaft darstellt, die Ergebnisse einer Kostenvergleichsrechnung nicht ausreichen, um fundierte Investitionsentscheidungen treffen zu können.

Die angespannte finanzielle Lage der öffentlichen Haushalte die sich mit Ausgaben in Milliardenhöhe für die Wasserentsorgung, Hochwasserschäden, etc. konfrontiert sehen, zeigen die Notwendigkeit auf, Nutzen und soziale Kosten von Investitionsprojekten nicht länger zu vernachlässigen. Wie sich eine solche Vorgehensweise gestalten kann, zeigt das folgende Kapitel.

### **2.3.1. Das Systemmanagement**

Die Prämisse der Nutzenäquivalenz zweier Verfahren kann als unwahrscheinlich eingestuft werden. Daher ist bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit die Beschränkung auf Kostenvergleiche als Indiz für eine unvollständige Nachweismethodik und für potenziell falsche Ergebnisse zu werten. Kommunen und Verbände schrecken beobachtungsgemäß vor der wissenschaftlichen Bewertung nicht monetärer Aspekte und derartiger wissenschaftlicher Methoden zurück, weil ihren Entscheidungsträgern und oft auch ihren beratenden Büros, seien es Wirtschafts-, Ingenieurbüros oder Unternehmensberatungen, das notwendige methodische Wissen oder mitunter auch der Wille zu einer Risikoreduzierung fehlt [Institut für Abwasserwirtschaft Halbach 2003].

Zur Evaluierung nicht monetärer Aspekte wird im Allgemeinen die Kosten-Nutzen-Analyse herangezogen, die es ermöglicht, Kosten und Nutzen einer Alternative separat zu ermitteln. Um die Kosten und Nutzen einer Maßnahme miteinander in Beziehung zu setzen und auf diese Weise fundiertere Ergebnisse zu generieren, wird in der nachfolgenden Untersuchung zur Wirtschaftlichkeitsermittlung ein ganzheitliches Verfahren zur Investitionskostenrechnung (GRIP) verwendet. Dieses Verfahren stellt eine Weiterentwicklung der Kosten-Nutzen-Analyse dar. Es vereinigt die methodischen Vorteile und liefert belastbare Ergebnisse in den Bereichen, in denen die herkömmliche Kosten-Nutzen-Analyse immer wieder auf Kritik stößt [Schweres, M./Sengotta, M. 1994]. Einen der Hauptkritikpunkte der Kosten-Nutzen-Analyse muss sich jedoch auch das GRIP-Verfahren stellen: Die subjektive Auswahl und Gewichtung der zu bewertenden Kriterien. Um diesen Punkt zu entkräften, wird nachfolgend das Systemmanagement zur Bildung eines objektiven Kriterienkatalogs herangezogen. Der erstellte Kriterienkatalog

wird nachfolgend in dem GRIP- Verfahren auf die verschiedenen Methoden der Regenwasserbewirtschaftung bzw. Ableitung angewendet.

Die ungeheure Dynamik des technisch-ökonomischen Fortschritts konfrontiert den Menschen heutzutage mit einem an Komplexität kontinuierlich zunehmenden Problemdruck, dem die Problemlösungsfähigkeiten des Menschen, die sich durch die Bestimmung von nahliegenden Ursache-Wirkungsbeziehungen definieren, nicht mehr standhalten können [Müller, U./Pasche, M. 1992]. Nachfolgend wird das Systemmanagement als zweckmäßige Methode vorgestellt, die es ermöglicht, das Fortbestehen und die Entwicklungsfähigkeit eines komplexen Systems durch das Lernen von der Biosphäre zu ermöglichen. Dieser Theorieansatz geht weit über den Versuch hinaus, eine optimale Ressourcenallokation zu gewährleisten. Es wird keine anthropozentrische Strategie favorisiert, sondern der Mensch versteht sich vielmehr als Teil der ökologischen Zusammenhänge. Die Grundidee des Systemmanagements basiert auf den Annahmen der Bionik, in der Technik aus biologischen Vorbildern zu lernen und weitet diese Annahme auf die Erforschung und Umsetzung der evolutionär gefundenen Prinzipien im Umgang mit hochkomplexen Systemen aus. Eine Komplexitätsreduktion der Systeme, ein Erkennen und Nutzen aller vorhandenen Kontingenzpotentiale und die Optimierung der Resonanzfähigkeit sind die Leitprinzipien, die dem Systemmanagement in diesem Zusammenhang zugrunde liegen.

Die vorstehend beschriebene Einengung im Denken führt zu typischen Fehlern im Umgang mit komplexen Systemen. Das Systemmanagement sieht die Ursache für diese Fehlentwicklung in einer unzureichenden Kenntnis der Funktionsprinzipien selbstorganisierender Systeme. Das führt zu einer unangemessenen Handhabung. Um diesen Zustand zu überwinden gilt es daher, Gestaltungs- und Eingriffsprinzipien für komplexe selbstorganisierende Systeme zu entwickeln. Deren Anwendung erlaubt es, eine ökologische Kompatibilität und evolutive Lernfähigkeit des sozioökonomischen Systems zumindest annäherungsweise zu erreichen. Solche Regeln, die eine Überlebens- und Entwicklungsfähigkeit gewährleisten, sind in der Literatur inzwischen herausgearbeitet und für betriebswirtschaftliche Zwecke anwendbar gemacht worden.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Die biokybernetischen Regeln von F. Vester stellen in diesem Zusammenhang ein immer wieder zitiertes Beispiel dar. Vgl. Vester, F. (2002).

Wird das Systemmanagement als Grundlage für eine evolutiv passende Wirtschaftlichkeitsanalyse herangezogen, ist es möglich, Zielkriterien zu generieren. Die technischen, sozialen und ökonomischen Strukturen eines sozioökonomischen Systems können so gestaltet werden, dass die Entwicklungs-, Lern- und Überlebensfähigkeit gewährleistet wird. Eine derartige Systemstrukturierung geht nicht nur gegenwärtig, sondern auch zukünftig mit einer optimalen Kostenstruktur einher. Zur Konzeption der Zielkriterien dient der „Evaluationswürfel“.

### 2.3.2. Der Evaluationswürfel

Zum besseren Verständnis des evolutiven Konzeptes wurde vom Lehrstuhl Ordnungs- und Prozesspolitik der Universität Hannover der Evaluationswürfel einer nachhaltigen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung entwickelt. Das evolutive Konzept lässt sich plastisch anhand des Evaluationswürfels erläutern:

Die vordere Front zeigt die drei Dimensionen Ökonomie, Ökologie und Soziales. Das „Dach“ demonstriert, dass bei der Bewertung nicht nur die Wirkungen in der Region sondern auch die überregionalen Wirkungen zu beachten sind. Das entscheidende Element bildet die strategische Differenzierung.

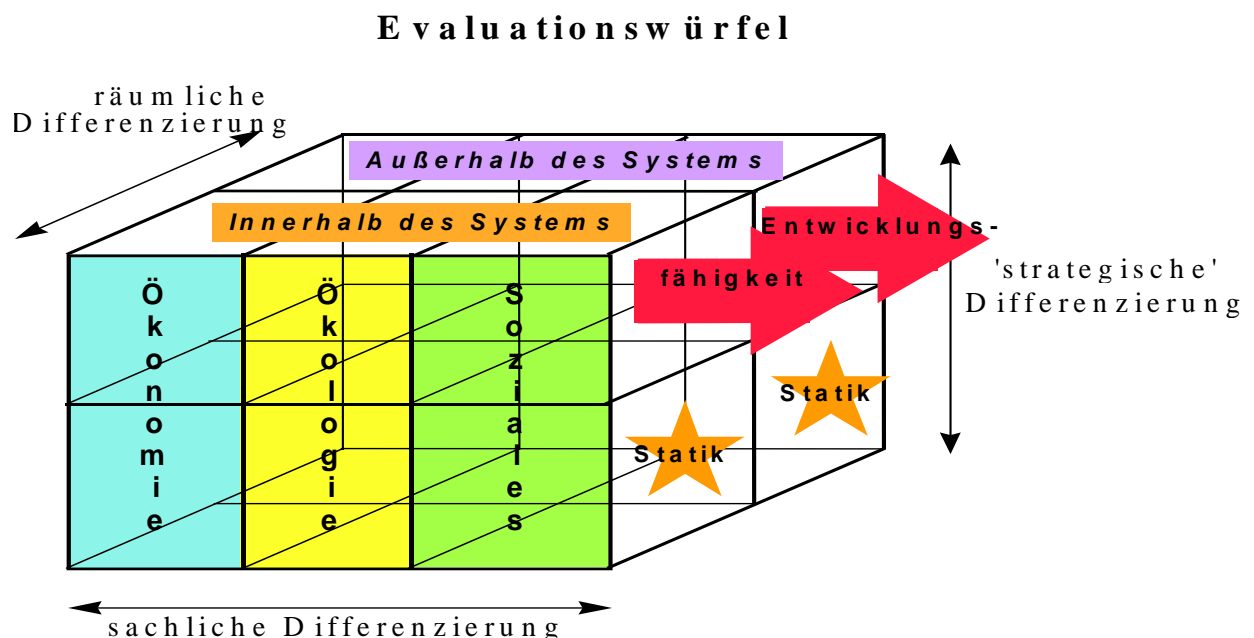


Abb. 4: Der Evaluationswürfel.



Der Begriff Entwicklungsfähigkeit charakterisiert im vorliegenden Kontext das System (hier die Regenwasserbewirtschaftung und die Rahmenbedingungen) bezüglich seiner Fähigkeit:

- dem gesellschaftlichen System Spielräume und Anreize zur selbstorganisierten Suche nach effizienten Innovationen zu geben,
- die Komplexität der sozioökonomischen und rechtlichen Realität in angemessener Weise zu reduzieren,
- auf die sich verändernden ökonomischen und rechtlichen Randbedingungen rasch und adäquat zu reagieren,
- zum Erreichen der Langfrist-Ziele des Sustainable-Development beizutragen.

Um diese Fähigkeiten jedoch auszubilden, bedarf es konkreter Handlungsempfehlungen, die nachfolgend unter Bezugnahme auf das biologische System generiert werden:

Das biologische System hat über Millionen von Jahren seine Entwicklungs- und Bestandsfähigkeit unter Beweis gestellt. Die Wirkungsstrategien der Biosphäre stellen das Ergebnis eines evolutiven Optimierungsprozesses dar, aus denen folgende Prinzipien abgeleitet und für ein nachhaltiges ökonomisches Handeln nutzbar gemacht werden können:<sup>2</sup>

### **Verwendung von Stromgrößen**

Niederschläge fallen großflächig an. Das Wasser wird von der Biosphäre direkt vor Ort verwertet. Die Natur ist auf den Kreislauf von Niederschlag und Verdunstung angewiesen. Die Speicherung und Verwertung von Niederschlagswasser erfolgt in der Natur dezentral. Es liegt daher nahe, es der Natur gleich zu tun und das Regenwasser - so weit wie möglich - direkt dort dem Kreislauf der Natur zuzuführen, wo es anfällt und auf diese Weise den Bestand an Grundwasser und diverser Mikrokimate zu gewährleisten.

### **Entropiegerechte Nutzung**

---

<sup>2</sup> Diese Prinzipien der Entwicklungs- und Bestandsfähigkeit von Systemen sind am Lehrstuhl Ordnungs- und Prozesspolitik der Universität Hannover von Müller, U./Pasche, M. generiert und bereits erfolgreich auf die Bereiche der Energiewirtschaft angewendet worden. Vgl. (Müller, U./Pasche, M. 1992).

Bei jedem Wandlungsprozess dissipiert Energie. Um mit Schmutzwasser vermisches Regenwasser zu reinigen, muss es auf die Kläranlage gepumpt und dort gereinigt werden. Diese Verluste von Nutzenergie zeugen von einer äußerst geringen Notwendigkeit, Erfahrungs- und Lernkurveneffekte zu realisieren. Eine zukunftsfähige Wasserversorgungspolitik muss aber die Energie- und Ressourcenströme so gering wie möglich halten. Dies setzt einen sparsameren Umgang mit der gewonnenen Energie voraus und fordert einen effizienteren Energieeinsatz. Beide Maßnahmen tragen so dazu bei, den Energiefluss des sozio-ökonomischen Systems zu optimieren. Ein Blick in die Natur kann hier wertvolle Anregungen bieten, denn biologische Systeme besitzen „Wirkungsgrade“ von nur 1% bis 2%<sup>3</sup>. Die Evolution optimiert sich in Richtung eines minimierten spezifischen Energieverbrauches [Vester 2002].

### **Kleinräumigkeit**

In der Natur findet man keine großräumigen zentralistischen Strukturen, die auf die Nutzung dezentral und großflächig anfallender Systeminputs (Sonnenenergie, Niederschlagswasser, usw.) zurückzuführen sind. Kleinräumigkeit hat darüber hinaus die Vorteile einer flexiblen Anpassung an lokale Besonderheiten und kürzere Transportwege. Kleinräumige Strukturen sind die Voraussetzung für Anpassungsfähigkeit und Effizienz, insofern lokal verschiedene Randbedingungen auf das Ergebnis Einfluss haben.

### **Diversität**

Die Anpassung an lokale Randbedingungen begünstigt oder erzwingt die Entstehung verschiedener biologischer Formen. Da die Existenz des Organismus A gleichzeitig zu den Entwicklungsbedingungen des Organismus B gehört und umgekehrt, können bereits kleine Unterschiede zu einem komplexitätssteigernden Ausdifferenzierungsprozess führen. Es ist daher paradox, von einer optimalen Form oder einer optimalen Struktur der Abwasserwirtschaft zu sprechen, da die optimale Ausgestaltung auf lokalen und temporären Maßstäben beruht, wenn gleich es auch globale, vom System unabhängige Merkmale biologischer Organisationsformen gibt. Auf der strategischen Ebene bedeutet dieser Sachverhalt, dass es keine wasserwirtschaftliche Technologie gibt, die unter allen Umständen die ökologisch beste ist, sondern dass die Alternativen in regional sehr unterschiedlichen Mischungsverhältnissen genutzt werden müssen.

---

<sup>3</sup> In der Wachstumsperiode ist ein Prozentsatz von 4 möglich, vereinzelt auch kurzzeitig mehr, aber eine Grenze von 10% wird nicht überschritten.

## **Selbstorganisation**

Die Entstehung von Ordnung und die Ausdifferenzierung „höherer“ Ordnungsmuster beruhen auf Selbstorganisationsprozessen. Diese können mit theoretischen Merkmalen dissipativer Strukturen und synergetischen Zusammenhängen erklärt und in formalen Modellen abgebildet werden. Auch menschliche Gesellschaften sind als selbstorganisierende Systeme aufzufassen. Die Bildung von Strukturen auf unterschiedlichen Ebenen kommt durch das Zusammenspiel von stabilisierenden (konservativen) und destabilisierenden (innovativen) Kräften zustande. Während bestimmte Ordnungsmuster, wie sie beispielsweise die Strukturen der Gütermärkte darstellen, ständig zur Disposition stehen, sind übergeordnete Ordnungsmuster, wie z.B. der rechtliche Rahmen der Wasserwirtschaft relativ stabil und ändern sich nur in einem langfristigen Evolutionsprozess. Werden Strukturen problemadäquat und können ihre Funktion nicht mehr in ausreichendem Maße erfüllen, geraten sie in eine Krise. Werden in diesem Zusammenhang kritische Schwellwerte überschritten, dann kippt das System in einen neuen Ordnungszustand um. Auf höheren Hierarchieebenen gibt es z.T. Lernmechanismen, die zu einer allmählichen Anpassung an neue Randbedingungen führen.

Auf betriebswirtschaftlicher Ebene können dies z.B. Entscheidungen des Strategischen Managements, auf politischer Ebene könnte das eine Gesetzesnovelle sein. Dem Systemmanagement geht es um eine Erhaltung und Förderung der Selbstorganisationsfähigkeit. Es scheint so, als ob diese im Bereich der Abwasserwirtschaft in einem zu geringen Maße gegeben ist (Monopolstellungen, Schutz vor innovativem Wettbewerb, Förderung und dadurch künstliche Konservierung bestimmter Technikstrukturen). Gemäß des Systemmanagement-Ansatzes geht es darum, ökologisch kompatible Muster (Strategien, Institutionen, Organisationsformen) zu entwickeln. Die herausgearbeiteten Merkmale der biosphärischen Strategie sind dabei der Orientierungsmaßstab, der für die Wasserwirtschaft operationalisiert werden muss.

### **2.4. Zusammenfassung bestehender und zukünftig zu erwartender Anforderungen an die Regenwasserbewirtschaftung**

Die momentan bestehenden Anforderungen an die Regenwasserbewirtschaftung sind sowohl aus ökologischen als auch ökonomischen Aspekten nicht ausreichend. Durch die in Deutschland vorhandene Versorgungssicherheit mit Wasser, wird Niederschlagswasser von befestigten Flächen bisher als möglichst schnell zu entsorgendes

Abfallprodukt betrachtet. Gehäuft auftretende Hochwasserereignisse und steigende Kosten bei der Reinigung von Abwässern auf Kläranlagen sind nur zwei Aspekte, die dazu führen, dass die bisherige Vorgehensweise hinterfragt wird.

Bei den zur Diskussion stehenden neuen Anforderungen an Wasserhaushalt sowie Menge und Qualität des in ein Gewässer einzuleitenden Niederschlagswassers muss ein Kompromiss gefunden werden. Die Anforderungen können nicht höher sein als mit dem Stand der Technik bei vertretbarem ökonomischen Aufwand umsetzbar ist. Verfahren zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung (z.B. Mulden-Rigolen-Elemente) bieten sich für diese neue Herausforderung an. Eine Vielzahl von Praxisbeispielen hat die Tauglichkeit der Systeme bereits unter Beweis gestellt.

Langfristig gesehen sollte eine nachhaltige Regenwasserwirtschaft alle künstlichen und natürlichen Wasserkreisläufe berücksichtigen. Das primäre Interesse sollte sich dabei auf die folgenden Ziele richten:

- Langfristiger Schutz von Wasser als Lebensraum und zentrales Element von Lebensräumen;
- Sicherung des Wassers in seinen verschiedenen Vorkommen als Ressource für gegenwärtige und zukünftige Generationen,
- Erschließung von Optionen für eine dauerhafte naturverträgliche, wirtschaftliche und soziale Entwicklung [Kahlenborn, W. Kraemer, R.A. 1999].

Eine ganzheitliche Sichtweise erfordert dabei, dass auch nachhaltigen Entwicklungen in anderen Sektoren Rechnung getragen wird. Die Dienstleistungen in der Siedlungswasserwirtschaft sind folglich so zu gestalten, dass sich eine ökologische, ökonomische und soziale Tragfähigkeit auch in Zukunft gewährleisten lässt.

### **3. Methodisches Vorgehen**

#### **3.1. Anlagendimensionierung und Ermittlung von Wasser und Stoffkomponenten**

##### **3.1.1. Überblick**

Für den Vergleich verschiedener Varianten zur Regenwasserentsorgung/-bewirtschaftung wird geprüft, inwieweit die Varianten bestehende und zukünftige Anforderungen einhalten. Die dabei gewählte Vorgehensweise orientiert sich an den zur Verfügung stehenden Daten. Da momentan ein detaillierter Variantenvergleich oft nur im Rahmen von Vorplanungen oder Studien durchgeführt wird, fehlen oft detaillierte Informationen, sei es zu Bodenbeschaffenheit oder beispielsweise Angaben über das Abflussverhalten im Vorfluter. Die prinzipielle Vorgehensweise für den Vergleich verschiedener Varianten ist jedoch für alle Gebiete ähnlich.

##### **3.1.2. Bemessung dezentraler Regenwasserbewirtschaftungsanlagen**

Als dezentrale Lösung zur Bewirtschaftung des Regenwassers werden Versickerungsvarianten (kein Gründach) betrachtet. Die am häufigsten betrachteten Varianten sind dabei Muldenversickerung (mit und ohne gedrosselter Ableitung), Mulden-Rigolen-Elemente (ohne Ableitung) und Mulden-Rigolen-Systeme (mit gedrosselter Ableitung). Die Wahl des geeigneten Systems ergibt sich in Abhängigkeit von den örtlich vorliegenden Gebietseigenschaften. So kann beispielsweise trotz eines relativ gut durchlässigen Untergrundes ein Mulden-Rigolen-System verwendet werden, wenn schwankende Grundwasserstände vorliegen, was deren Mitbewirtschaftung ermöglicht.

Sofern innerhalb der Projekte keine gesonderten Anforderungen auftreten, werden die Gesamtsysteme jeweils auf eine Überstauhäufigkeit von  $n = 0,2$  (1x in 5 Jahren) dimensioniert, bei Systemen mit ober- und unterirdischem Speicher wurden die Mulden auf  $n = 1$  bemessen. Für den Muldenboden wird ein  $k_f$ -Wert von  $1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$  angesetzt, da sich jeder Muldenboden entsprechend künstlich aufbereiten lässt. Die Bemessung erfolgt mit Hilfe einer Langzeitsimulation mit dem Modell STORM [IPS].

Inwieweit Niederschlag und Durchlässigkeitsbeiwert die Dimensionierung beeinflussen, wird im Folgenden beispielhaft für Mulden-Rigolen-Elemente gezeigt. Dabei wird ein Element für den Rückhalt der Niederschläge einer versiegelte Testfläche von 0,1 ha betrachtet.

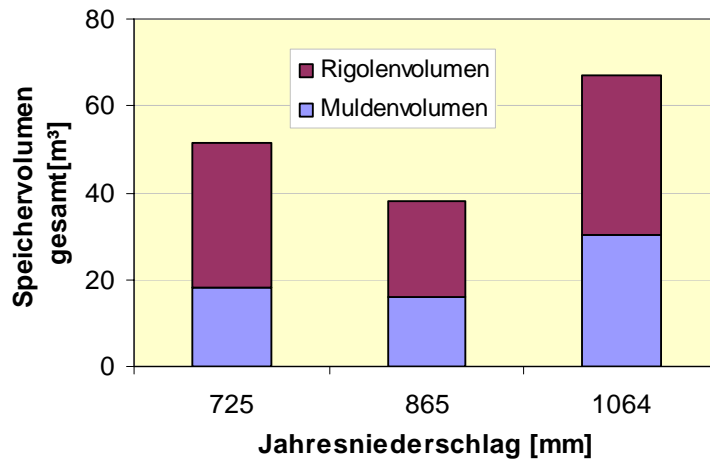


Abb. 5: Speichervolumen von Mulden-Rigolen-Elementen bei konstantem  $k_f$ -Wert ( $2,78 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ ) für  $A_{\text{red}}=0,1 \text{ ha}$  und drei Niederschlagsstationen mit unterschiedlichen zeitlichen Niederschlagsverläufen

Abbildung 5 verdeutlicht, dass es keinen linearen Zusammenhang zwischen mittlerem Jahresniederschlag und notwendigem Speichervolumen gibt. Entscheidend für die Bemessung sind Starkniederschlagsereignisse und damit die Niederschlagsverteilung innerhalb des Jahres. Die Länge der für die Bemessung verwendeten Niederschlagsreihe spielt dabei ebenfalls eine Rolle.

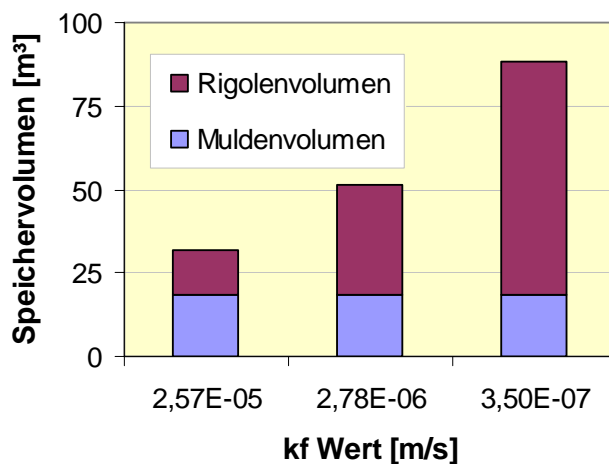


Abb. 6: Speichervolumen von Mulden-Rigolen-Elementen bei gleichen Niederschlagsbedingungen (Jahresniederschlag 725mm) und variierenden  $k_f$ -Werten

Aufgrund des für alle Mulden verwendeten gleichen  $k_f$ -Wertes unterscheiden sich die Volumen der Mulden-Rigolen-Elemente nur durch die Größe der Rigolen. Dabei existiert ein linearer Zusammenhang zwischen  $k_f$ -Wert und notwendigem Speichervolumen (Abb. 7).

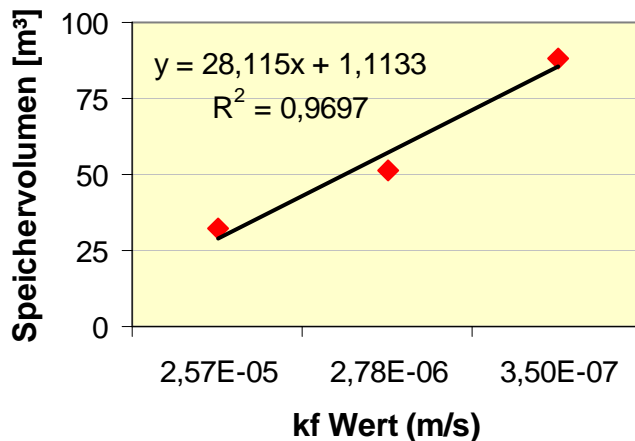


Abb. 7: Zusammenhang zwischen Speichervolumen von Mulden-Rigolen-Elementen und  $k_f$ -Wert des Bodens

### 3.1.3. Ermittlung von Wasserbilanzen

Für Untersuchungsbeispiele bei denen eigene Berechnungen durchgeführt wurden, wurde mit dem Modell STORM [IPS] gearbeitet. Eine langjährige Niederschlagsreihe wird als Eingangsgröße für die Modellierung benötigt, die Wasserhaushaltskomponenten Oberflächenabfluss, Versickerung und Verdunstung werden innerhalb der Modellierung berechnet. Zum Vergleich verschiedener Varianten wurden die Ergebnisse von Langzeitsimulationen herangezogen, wobei der Berechnungszeitraum von den vorliegenden Niederschlagsdaten abhängig ist.

Den Wasserbilanzen der verschiedenen Varianten werden die Ergebnisse für einen „natürlichen“ oder „unbebauten“ Zustand gegenüber gestellt. Informationen zum Wasserhaushalt im unbebauten Zustand wurden aus dem hydrologischen Atlas für Deutschland entnommen. Lagen Informationen zur Bodenbeschaffenheit vor, wurden mit dem Modell STORM [IPS] eigene Berechnungen durchgeführt, unter Verwendung eines neu implementiertes Bodenwasserhaushaltsmoduls. Sofern weitere Angaben hinsichtlich

des Wasserhaushaltes für natürliche/ unbebaute Flächen für ein Untersuchungsgebiet vorhanden waren, wurden diese zur Evaluierung der Modellergebnisse herangezogen.

### 3.1.4. Prüfung der hydraulischen Gewässerbelastung

Bisher werden für bebaute Einzugsgebiete häufig Abflussspenden festgelegt (z.B. 10 l/(s\*ha)), ohne jedoch zu prüfen, ob mit dieser eingeschränkten Einleitmenge ein Schutz der Gewässerorganismen (an der Flusssohle) vor hydraulischem Stress gewährleistet werden kann. Ein Bewertungskriterium zur Berücksichtigung des hydraulischen Stress stellt beispielsweise der potentiell natürliche, einmal im Jahr auftretenden Abfluss HQ1 dar [BWK-M3,1999]. Für die überschlägigen Abschätzungen der Bedingungen in den untersuchten Gebieten wurde mit dem vereinfachten Nachweis gearbeitet. Betrachtet werden muss ein geschlossenes Siedlungsgebiet  $A_{red}$  (nicht nur ein neu zu bebauender Bereich), das Gesamteinzugsgebiet des Gewässers bis zur Einleitstelle ( $A_{eo}$ ) und der potentiell natürliche einjährige Hochwasserabfluss  $Hq_{1,pnat}$  (Gl. 1).

$$Q_{El,zul.} < 1,0 \cdot Hq_{1,pnat} \cdot \frac{A_{red}}{100} + x \cdot Hq_{1,pnat} \cdot A_{Eo} \quad (Gl. 1)$$

Nicht für jedes Untersuchungsgebiet lagen die notwendigen Informationen, insbesondere zum natürlichen einjährigen Hochwasserabfluss des Vorfluters, vor. In diesen Fällen wurde ein relativer Vergleich der ermittelten einjährigen Abflüsse durchgeführt.

### 3.1.5. Berechnung stofflicher Gewässerbelastungen

Lagen für die Untersuchungsgebiete keine detaillierten Ergebnisse bezüglich Stofffrachten vor, wurden ergänzend eigene Berechnungen durchgeführt. Dazu wurden in Anlehnung an andere Projekte [Grottke, 1987] Konzentrationen für Schmutzwasser und Niederschlagswasser, in Abhängigkeit vom Ort des Anfalls, verwendet (Tab. 2).



Tab. 2: Stoffkonzentrationen für verschiedene Flächennutzungen [Grottke, 1987]

Stoffparameter [mg/l]	Regenwasser von Strassen	Regenwasser von Dachflä- chen	Regenwasser von natürlichen Flächen	Schmutzwasser
CSB	150	100	15	600
AFS	150	50	50	300
NH4-N	20	15	5	80
BSB	10	10	5	500
P	1	2	1	15

Bei der Bodenpassage wird das Niederschlagswasser gereinigt (in Mulden, Mulden-Rigolen, Bodenfilter), verwendet wurden die Reinigungsleistungen in Tabelle 3.

Tab. 3: Reinigungsleistung bei Bodenpassage (Versickerung)

Stoffparameter	CSB	AFS	NH4-N	BSB	P
Reinigungsleistung [%]	70	90	80	80	50

### 3.1.6. Ermittlung von Spitzenabflüssen (Verhalten bei Starkniederschlagsereignissen)

Die Spitzenabflüsse ergeben sich, je nach verwendetem System, aus der Summe von Überstauwassermenge und Drosselabfluss oder nur aus dem Überstauwasser (bei vollständiger Versickerung). Obwohl Hochwasserschutz keine primäre Aufgabe der Siedlungsentwässerung ist, sollen die Auswirkungen verschiedener Regenwasserbewirtschaftungsvarianten hinsichtlich der Hochwasserabflüsse verglichen werden. Dezentrale Lösungen können dabei ein beachtliches Potenzial für den Wasserrückhalt im Einzugsgebiet darstellen und damit eine geeignete Ergänzung für andere Maßnahmen des Hochwasserschutzes darstellen [Sieker (2006)].

Für jedes Untersuchungsgebiet und jede untersuchte Variante wurde die durch die Langzeitsimulation ermittelte Abflusssganglinie (Oberflächenabfluss) unter Verwendung des Programms „time view“ ausgewertet. Um die Wiederkehrzeit der Abflüsse abzuschätzen, wurde die Plottingformel [IPS] verwendet (Gl. 2).

$$T = \frac{L + 0,2}{k - 0,4} \cdot \frac{M}{L} \quad (\text{Gl. 2})$$

L – Anzahl der Stichprobenwerte (-), T – Wiederkehrzeit (a), M – Anzahl der zugrunde liegenden Jahre der Regendatei (-), k – Ordnungszahl der einzelnen Werte, wobei k = 1 dem größten Wert und k = L dem kleinsten Wert entspricht

Dass selbst bei Überlastung (Überlauf) dezentrale Anlagen einen Großteil der Niederschläge im Gebiet zurück halten können, soll am Beispiel eines Mulden-Rigolen-Elementes gezeigt werden (angeschlossene versiegelte Fläche 0,1 ha). Das Element wurde unter Verwendung einer 30 jährigen Regenreihe (Niederschlagsstation Baden-Baden) dimensioniert und auf  $n = 0,2$  bemessen. Damit sind 6 Überstauereignisse zulässig. Bei den drei Ereignissen mit den höchsten Regensummen kam es nur bei zwei Fällen zum Überlauf. Bei den 6 Überlaufereignissen wurde insgesamt mehr als 80% der Niederschläge im Gebiet zurück gehalten (Tab. 4).

Tab. 4: Überlaufmengen eines Rigolen Elementes bei Starkniederschlägen

	Niederschlag	Spende	Dauer	Überlaufmenge	Rückhalt	Rückhalt
Datum	Summe[mm]	[l/(s*ha)]	[min]	[m³]	[m³]	%
17.08.1965	121	14,1	1430	27	94	78
30.11.1972	104	12,3	1420	16	88	85
30.06.1977	78	8,2	1580	5	73	93
06.10.1980	74	8,7	1415	1,6	72	98
08.11.1979	70	20,1	580	0,4	70	99
12.08.1967	89	10,5	1420	0,1	89	100
10.05.1977	113	4,1	4760	0	113	100

Konventionelle Systeme zur Regenwasserableitung führen das gesamte anfallende Niederschlagswasser, wenn auch über Regenrückhaltebecken zeitlich etwas verzögert, ab. Dies kann zu einer Verlängerung der Hochwasserwelle führen. Die Unterschiedliche Wirkung von Ableitungs- und Bewirtschaftungssystemen bei Starkniederschlagsereignissen zeigt beispielhaft Abbildung 8.

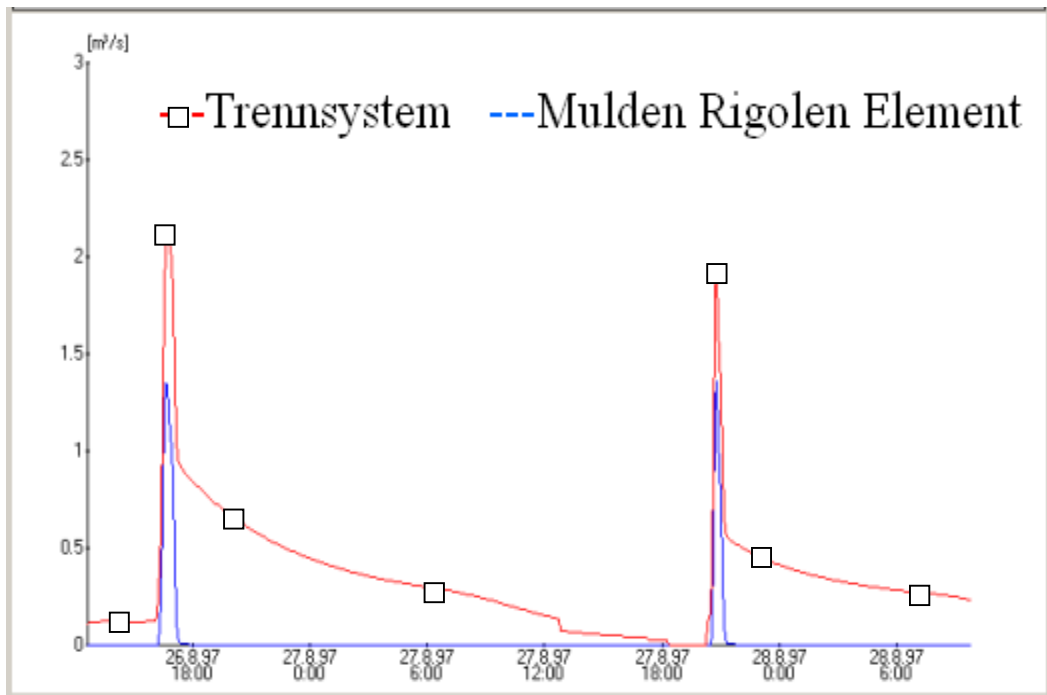


Abb. 8: Verhalten unterschiedlicher Systeme bei Starkniederschlägen

Damit können dezentrale Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen bei hochwasser-  
verursachenden Niederschlägen oft sowohl die Abflussmenge, als auch deren Schei-  
telabflüsse reduzieren [Stauss 1999].

### 3.2. Systemtheoretische Kriterien

#### 3.2.1. Überblick

Vor dem Hintergrund der in Abschnitt 2 herausgearbeiteten Merkmale der evolutions-  
strategischen Optimierung, wird zwischen der Funktionsorientierung, der Ressourcen-  
fluss-Optimierung, der Optimierung des Alternativen-Einsatzes und der räumlich-  
funktionellen Struktur (kleinräumige Diversität) unterschieden. Zunächst werden aus  
den Organisationsmustern der Biosphäre generelle Orientierungs-  
maßstäbe für eine ökologisch kompatible „Regenwasserbewirtschaftungsstrategie“<sup>4</sup> abgeleitet.

<sup>4</sup> Der Begriff der Regenwasserbewirtschaftung (statt Regenwasserableitung) wurde von F. Sieker in die Literatur eingeführt und verdeutlicht die Notwendigkeit eines Perspektivenwechsels von der unmittelbaren Ableitung hin zur ortsnahe Versickerung des Regenwassers. Gleichzeitig lenkt der Begriff die Aufmerksamkeit auf eine große Zahl an Alternativen, die anhand ihrer technischen Merkmale das konventionelle Ableitungssystem aus systemtheoretischer Sicht in vielen Bereichen übertreffen und aus diesem

### 3.2.2. Funktionsorientierung statt Produktorientierung

In der Natur gibt es für keine herausgebildete Struktur eine Überlebensgarantie. Das System Biosphäre wird wie alle anderen Systeme mit einem kontinuierlichen Wandel der Rahmenparameter konfrontiert. Ändern sich die Umweltbedingungen, so zieht dies eine Veränderung der optimalen Anpassung nach sich. Ehemals optimal angepasste Organismen sehen sich mit einem Evolutionsdruck konfrontiert. Überlebensfähige Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass sie in der Lage sind, auf veränderte Rahmenbedingungen flexibel zu reagieren. Folgende Reaktionen auf eine Umweltveränderung kann ein System zeigen:

- Der Veränderung wird räumlich oder zeitlich ausgewichen
- Die Ansprüche werden der neuen Situation angepasst
- Es erfolgt eine Veränderung der Ordnungsstruktur

Der Einsatz der ersten beiden Strategien ist im sozioökonomischen System mehr als fraglich, da die Ressourcenvorräte limitiert sind, ungeachtet der zeitlichen oder räumlichen Dimension. Eine Senkung des Anspruchsniveaus und der Übergang in ein asketisches Menschbild ist vor dem Hintergrund einer gewinnmaximierenden Gesellschaft ebenfalls nicht zu erwarten und würde den Erschöpfungszeitpunkt des Ressourcenvorrats nur in die Zukunft verlagern. Die beiden ersten Strategien nehmen also langfristig das Ende des sozioökonomischen Systems in Kauf.

Durch die Verwendung der dritten Strategie zeichnen sich lernfähige, innovative Systeme aus. Die eigene Existenzsicherung erfordert es, die Ordnungsstrukturen entsprechend anzupassen.

Es kommt also nicht darauf an, dass eine bestimmte Struktur erhalten bleibt, sondern darauf, dass bestimmte Funktionen erfüllt werden. Auf der Ebene von Gesellschaften resultieren diese Anpassungen aus kognitiven und kulturellen Lernprozessen. So kann das System Abwasserwirtschaft seine Funktionen in einer turbulenten Umwelt nur durch den Wandel der angebotenen Leistungen, der Organisationsstruktur, des technischen Know Hows, des Kapitalstocks, etc. aufrechterhalten. Diese Erkenntnis lässt sich folgendermaßen zusammenfassen: Es kommt auf eine Orientierung an den Funktionen an, nicht auf eine Orientierung an bestimmten Produkten. Wird die Abhängigkeit

---

Grund zum Kreis der besten verfügbaren Technologien gezählt werden können. Für eine detaillierte Erläuterung der technologischen Rechtsbegriffe in der Abwasserwirtschaft vgl. (Sieker, F. 2001).

von einem Produkt zu groß, ist unter veränderten Evolutionsbedingungen die Funktionsfähigkeit gefährdet.

Auch im Bereich der Abwasserwirtschaft ist eine Funktionsorientierung statt einer Produktorientierung notwendig. Das folgende Beispiel verdeutlicht, wie sich dieses evolutive Prinzip in der wasserwirtschaftlichen Planung anwenden lässt:

Viele große Städte in Deutschland sehen sich mit sinkenden oder zunehmenden Einwohnerzahlen konfrontiert. Besonders die neuen Bundesländer sind massiv von Abwanderung und einem nie da gewesenen Geburtenrückgang betroffen. Für den Fall einer rückläufigen urbanen Population wird das Kanalsystem nur unzureichend ausgelastet und ist für die Funktion, die es zu erfüllen hat, entscheidend überdimensioniert. Die anfallenden Sanierungsleistungen stehen in keiner Relation zu der tatsächlichen Nutzung. Ein zentralistisches Kanalsystem kann jedoch nicht ohne kapitalintensive Investitionen an sich verändernde Rahmenbedingungen angepasst werden. Angesichts der angespannten Lage der öffentlichen Haushalte werden demzufolge Ausgaben für Sanierungszwecke in die Zukunft verlagert, wodurch der Verfall des Systems weiter gefördert wird.

Liegt der umgekehrte Fall von zunehmenden Einwohnerzahlen vor, so ist davon auszugehen, dass ein in den meisten Fällen bereits ausgelastetes konventionelles Kanalsystem, das dem Prinzip der unmittelbaren Ableitung folgt, stärker belastet wird. Aufgrund der gestiegenen Volumenfrachten werden sich die Überstauungsereignisse häufen, und im Falle von Mischsystemen mit Schmutzwasser wird vermischtes Regenwasser öfter als üblich in die Vorfluter eingeleitet werden.

Es zeigt sich, dass eine Abwasserbewirtschaftung, die sich auf den Absatz des Produktes Kanalbau fixiert, evolutionär unangepasst ist.

### **3.2.3. Optimierung der Effizienz**

Unter Wettbewerbsbedingungen setzt sich tendenziell die Struktur durch, die Inputschwankungen besser verarbeiten kann als andere und die eine bestimmte Funktion mit geringstem Energie- und Ressourcenverbrauch gewährleisten kann. In der momentanen Praxis der Abwasserwirtschaft, in Mischsystemen, werden Abwasserkanäle überdimensioniert, damit sie im Falle von Regenereignissen die Niederschlagsmengen aufnehmen können. Zudem werden für das Eintreten von Überstauungen im Zuge von

Starkregenereignissen Retentionsbecken mit enormen Fassungsvermögen errichtet, die bei normaler Witterung keine Funktion besitzen. Diese Überdimensionierungen von Bauwerken gehen mit einem erhöhten Ressourcenverbrauch einher. Gleichzeitig werden Kläranlagenkapazitäten auf Schmutz- und Regenwasservolumina ausgelegt, die zu einer größeren Dimensionierung führen.

Im Falle von Starkregenereignissen reicht das Fassungsvermögen dieser Kanäle jedoch nicht aus, um die anfallenden Wassermassen abzuleiten. Als Folge wird das Regenwasser mit dem Schmutzwasser gemischt und in die Vorfluter eingeleitet. Das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung sagt für die kommenden Jahre für den Norden Deutschlands allgemein trockenere Sommermonate voraus. Die Anzahl der Starkregenereignisse soll sich jedoch auffallend erhöhen. (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, 2006).

Je umfangreicher sich das Abwasserkanalnetz darstellt, desto höher ist auch die Wahrscheinlichkeit, dass Fremdwasser in die Kanäle eindringt, das ebenfalls auf der Kläranlage behandelt werden muss. Die Ableitung von Fremdwasser und seine Mitbehandlung in Kläranlagen stellt für viele Kommunen einen erheblichen Kostenfaktor dar, der vielfach nicht klar genug erkannt wird: Größere oder zusätzliche Regenüberlaufbecken, Instandsetzungskosten für überdimensionierte Kläranlagen, höherer Energie- und Chemikalienverbrauch, sowie höhere Abwasserabgaben sind vielfach die direkten Folgen eines zu hohen Fremdwasseranteils. Durch die herkömmliche Überwachung der Kanalnetze ist eine Quantifizierung der Fremdwasserquellen nicht zuletzt wegen der starken saisonalen Schwankungen nicht möglich. Die Installation fester Durchfluss-Messeinrichtungen im Kanalnetz erfordert dagegen einen sehr hohen finanziellen Aufwand.

Der Ansatzpunkt einer Effizienzsteigerung des Systems liegt also darin, durch eine effiziente Organisation und Anwendung der zur Bewirtschaftung des Regenwassers geeigneten Maßnahmen unnötige Ressourcen- und Energieverbräuche zu vermeiden bzw. zu minimieren. Dies kann z.B. durch kurze Prozessketten und effiziente Technologien realisiert werden.

#### **3.2.4. Optimierung des Ressourceneinsatzes**

Die vorgenannten Darstellungen verdeutlichen, dass nur eine Strategie, die den Ressourcenverbrauch minimiert, d.h. die Ordnung des Systems mit einem möglichst gerin-

gen Input aufrecht erhält, den Fortbestand des Systems gewährleisten kann. Für die Abwasserwirtschaft ist daher aus der Sicht des Systemmanagements mit Bezug auf das System Regenwasserbewirtschaftung die Alternative zu favorisieren, die bei minimalen Ressourceneinsatz die Funktionserfüllung und somit evolutive Wettbewerbsfähigkeit gewährleistet.

### **3.2.5. Kleinräumige Diversität**

Großräumige Monokulturen sind der Natur fremd. Kleinräumige Diversität, enge Austauschbeziehungen und Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Organismen (Systemen) in Form von Symbiosen oder von Wettbewerb sind ökologische Prinzipien, die überall anzutreffen und die Ergebnis eines evolutiven Optimierungsprozesses sind.

Die Schlussfolgerung, die das Systemmanagement daraus zieht, ist die, dass kleinräumige Diversität aus folgenden Gründen als Gestaltung des Regenwassersystems wichtig ist:

- Der langfristig notwendige (ausschließliche) Einsatz von Alternativen, die den Ressourcenverbrauch minimieren, erfordert eine dezentrale Nutzung.
- Eine Kopplung von Prozessen ist oft nur bei kurzen Wegen sinnvoll, da sonst unnötige Dissipation beim Transport entsteht.
- Eine enge Verbindung zur Nachfrageseite, d.h. eine flexible Anpassung an die Abwasserdienstleistungsstruktur erfordert eine Anpassung an die lokalen Verhältnisse (z.B. geologisches Bedarfsprofil, lokal differenzierte Anforderungen an die Bewirtschaftung, unterschiedliche soziale Akzeptanz von Technologien etc.).

Wie aus ordnungspolitischer Sicht näher ausgeführt wird, impliziert Kleinräumigkeit auch eine dezentralere Entscheidungsfindung als die heute vorhandene, was wohl zu einer Stärkung der kommunalen Versorgungsunternehmen, als auch zu mehr Wettbewerb führen wird.

### 3.3. Konsequenzen für die Abwasserwirtschaft aus Sicht des Systemmanagements

#### Die bisherigen Versorgungsstrategien und ihre Kritik

Die zur Zeit in der Abwasserwirtschaft vorherrschenden Strategien der unmittelbaren Regenwasserableitung sind geradezu konträr zu den zuvor entwickelten Kriterien ökologischer Kompatibilität. Die Kritik an dem Umgang mit Regenwasser innerhalb der Abwasserwirtschaft wird nachfolgend stichwortartig zusammengefasst:

*Produkt- statt Funktionsorientierung.* Das Geschäft mit der „Ware“ Abwasser steht im Vordergrund, nicht die Deckung des Bedarfs an Abwasserdienstleistungen. Die Struktur der Abwasserwirtschaft zeigt eine Ausrichtung auf das Produkt anstatt auf die Funktion, was gegen die Kriterien der Überlebensfähigkeit spricht.

*Unzureichende Nutzung der Ressourcen.* Für die Ableitung des Regenwassers in Trennsystemen wird ein separates Kanalnetz verlegt, was mit einem extrem hohen Ressourceneinsatz verbunden ist. In Mischsystemen sind die Kanäle für den normalen Trockenwetterabfluss zu groß dimensioniert und bei Starkregenereignissen reicht ihr Fassungsvermögen meist nicht aus. Mit dem kapital- und ressourcenintensiven Bau von Überlaufbecken/Staukanälen etc. wird versucht, diese mangelnde Funktionserfüllung auszugleichen. Diese Bauwerke erfüllen ihre Funktion jedoch nur bei Starkregenereignissen. Bei Trockenwetter und normalen Regenereignissen bleiben sie ungenutzt. Diese ungenügende Auslastung verstößt gegen die Kriterien der Effizienz. Zwar kann mit dem Bau dieser sog. Regenüberlaufbecken (RÜB) ein Teil des Wassers aus der Kanalisation zunächst zwischengespeichert und später mit zeitlicher Verzögerung wieder ins Netz abgegeben werden, doch sobald die Becken gefüllt sind, öffnen sich die Überläufe zum Gewässer. Letztlich wird durch derartige Bauwerke zwar die Häufigkeit der Entlastung reduziert, doch verbindet sich hiermit keine erhebliche Reduzierung der Stofffracht. Entsprechende Studien haben gezeigt, dass sich diese mit dem Bau von Regenüberlaufbecken nur um 5 – 25 v.H. verringert. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) schätzt, dass über die Mischwassereinleitungen eine Schadstofffracht in die Gewässer gelangt, die etwa genauso hoch wie diejenige aus der Summe aller Kläranlagenabläufe ist [Lehn, H./Renn, O./Steiner, M. 1999]. Nach SIEKER (2003) ist die Frachteinleitung in die Gewässer über Misch- und Trennsystemeinleitungen und niederschlagsbedingte Kläranlagenabläufe im Mittel etwa dreimal so hoch wie die der Kläranlagenabläufe bei Trockenwetter.



*Ungenügende Ausschöpfung von Einsparpotenzialen.* Die bisherige Ableitungsstrategie ist auf die Angebotsseite fixiert und vernachlässigt Einsparpotenziale auf der Nachfrageseite. Die Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Entwässerungssystemen in Erweiterungs-, Neubau- und Bestandsgebieten wird zeigen, dass es im Falle der Regenwasserentsorgung für den Nachfrager durchaus vorteilhafter sein kann, sich für die Implementierung eines dezentralen Verfahrens zu entscheiden und auf diese Weise die Kosten zu minimieren und den gesamtgesellschaftlichen Nutzen zu erhöhen.

*Verschwenderischer Umgang mit Ressourcen.* Die oben genannten Punkte sowie die Tatsache, dass das Profil der eingesetzten ingenieurtechnischen Technologien mit dem Abwasserdienstleistungsbedarf auseinander klaffen, zeugen von einer Verschwendung evolutionärer Ressourcen. So werden Kanalnetze ressourcenintensiv überdimensioniert und Regenrückhaltebecken gebaut, um im Falle von Starkregenereignissen das Niederschlagswasser zurückhalten zu können. Meist reichen diese Maßnahmen jedoch nicht aus, so dass es zu Überstauungen kommt.

*Mangelnder Umweltschutz.* Emissionsmindernde Maßnahmen sind vielfach unzureichend. Bei Starkregenereignissen werden Flora und Fauna der Vorfluter stets mit hydraulischem Stress konfrontiert. In Mischsystemen kommt noch eine erhebliche Verunreinigung dazu, die sich qualitätsmindernd auf die Gewässergüteklasse auswirkt. Effektiver als End-of-pipe-Maßnahmen wäre eine rationelle Bewirtschaftung des Regenwassers direkt am Ort des Anfalls.

*Unzureichende Nutzung dezentraler Technologien.* Die Vorteile, die dezentrale Technologien bei der Bewirtschaftung des Regenwassers bieten können, werden nur in geringem Maße genutzt. Der Grund dafür liegt in verzerrten Preisrelationen und Subventionierungen „konventioneller Techniken“ sowie nicht berücksichtigter externer Effekte.

*Monopole und Machtkonzentration statt Selbstorganisation.* Anstatt kleinräumiger Diversität herrschen großtechnologische Monostrukturen vor. Statt Selbstorganisation (Wettbewerb) sind Monopole und Machtkonzentrationen zu beobachten. Die ausschlaggebende Instanz, die in diesem Zusammenhang die Transparenz für den Entscheidungsträger erhöhen kann, ist die DWA. Deren Regelwerk ist jedoch parallel mit dem System der konventionellen Ableitung gewachsen und hat sich etabliert. Um Selbstorganisation im Sinne eines freien Anwendens der Technologie, die optimal zu dem regionalen Profil passt, stärker zu forcieren und somit eine Erhöhung des gesamt-

gesellschaftlichen Nutzens zu garantieren, sollten Kosten-Nutzen-Überlegungen verstärkt berücksichtigt werden.

Nachfolgend wird das System Regenwasserwirtschaft an der herausgearbeiteten Kritik des Systemmanagement gemessen. Als Bewertungsgrundlage dient das von Schwere/Sengotta [Schweres/Sengotta1994] in die Wissenschaft eingeführte GRIP-Modell. GRIP ist als zweistufiges Verfahren zu bezeichnen, da es neben den monetären Kriterien die nicht bzw. schwer quantifizierbaren Kriterien in einer zweiten Gruppe betrachtet. Somit stellt die Vorgehensweise ein ganzheitliches Rechnungsverfahren zur Investitionsplanung (daher GRIP) dar, das auf der nach Zangemeister aufgebauten Methodik der Nutzwertanalyse beruht. [Zangmeister, C. 1971]

Der Kriterienkatalog dieses Verfahrens für erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnungen wurde anhand von Delphi-Analysen (Expertenbefragungen) ergänzt, so dass er als ein geeignetes Instrument zur Variantenevaluation der Regenwasserwirtschaft verwendet werden kann. Die Erweiterung des Katalogs erfolgt anhand der in den vorhergehenden Kapiteln herausgearbeiteten systemtheoretischen Gesichtspunkte. Der Kriterienkatalog zur Bewertung des Systems Regenwasserwirtschaft wird in Kapitel 8 aufgezeigt. Der Katalog erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit; er sollte sogar zwingend als erweiterbar angesehen werden.

Es sei in diesem Zusammenhang auf die Bewertungsrichtlinien des Kriterienkatalogs verwiesen. Sie sind nach der tabellarischen Übersicht zu finden und dienen zur näheren Erläuterung der einzelnen Begriffe. Dabei wird jedoch nur der am weitesten verschachtelte Unterpunkt im Notensystem erläutert, da nur für ihn eine Bewertung erfolgen muss. Es ist für die Erfüllungsskala jeweils angegeben, wann ein Kriterienpunkt mit „sehr gut“, „befriedigend“, oder „mangelhaft“ zu bewerten ist. Die Erfüllungswerte „gut“ und „ausreichend“ werden der Übersichtlichkeit halber nicht beschrieben. Sie sind aber als gleichberechtigt vorhanden anzusehen, um eine weitere Abstufung zu ermöglichen.

Das weitere methodische Vorgehen innerhalb des GRIP-Modells wird nachfolgend beispielhaft anhand der Evaluierung des Neubaugebietes Kupferzell genau erörtert.

## **4. Neubau- und Erweiterungsgebiete**

### **4.1. Besonderheiten von Neubau- und Erweiterungsgebieten**

Neubaugebiete sind zusammenhängende Gebiete mit eigener Schnittstelle zu einem natürlichen Gewässer. Der Planungsspielraum für Regenwasserbewirtschaftungsanlagen in Neubaugebieten ist groß, insbesondere wenn eine Konzeption frühzeitig in die Bebauungsplanung eingebunden werden kann. So können verschiedene Varianten dezentraler Lösungen verglichen werden (z.B. Bewirtschaftung des Niederschlagswassers auf privaten oder öffentlichen Freiflächen), auch eine Einbindung von Anlagen in die Freiflächenplanung ist möglich. Inwieweit konventionelle Lösungen für Neubaugebiete überhaupt noch zulässig sind, hängt neben den Anforderungen der einzelnen Bundesländer entscheidend vom Vorfluter und den Anforderungen für eine Einleitungsgenehmigung ab.

Erweiterungsgebiete sind ebenfalls neue Baugebiete, im Unterschied zu eigenständigen Neubaugebieten besitzen sie jedoch keine eigene Einleitung in ein Gewässer. Die Abflüsse aus Erweiterungsgebieten werden in bestehende Entwässerungssysteme eingeleitet. Hinsichtlich der Zielsetzungen für Erweiterungsgebiete hat man ähnlich wie bei eigenständigen Neubaugebieten größtmögliche Freiheitsgrade. Zusätzlich betrachtet werden muss jedoch, welchen Einfluss eine potentielle Einleitung in ein vorhandenes System hat. Dazu sollte möglichst eine Gesamtbetrachtung des vorhandenen Systems und des Erweiterungsgebietes durchgeführt werden, um die vielfältigen Auswirkungen durch den Neuanschluss (z.B. Überlastung des Kanalnetzes, häufigere Entlastung bei Mischwassersystemen, Überlastung der Kläranlage) berücksichtigen zu können.

Oft kommt für Neubaugebiete sowohl eine eigenständige Lösung mit Gewässereinleitung als auch der Anschluss an ein bestehendes System in Frage. Beide Varianten sollten hinsichtlich ökologischer und ökonomischer Zielgrößen detailliert geprüft werden bevor eine Entscheidung getroffen wird.

## 4.2. Detailbetrachtungen für ein geplantes Wohngebiet in Kupferzell

### 4.2.1. Untersuchungsgebiet/ Problemstellung

Die Gemeinde Kupferzell liegt im Norden von Baden-Württemberg östlich von Heilbronn im Landkreis Hohenlohekreis. Im Südosten der Stadt soll ein neues Wohngebiet von insgesamt 19,1 ha errichtet werden („Döttinger Strasse/Breite Strasse“). Innerhalb der Vorplanung wurde von versiegelten Flächen von 8,59 ha Dachfläche und 2,31 ha Straßenfläche ausgegangen. Die Bestandsflächen in Kupferzell werden im Mischsystem entwässert. Als Vorfluter für die Einleitung von Regenüberläufen und dem Kläranlagenablauf dient die Kupfer. Das Gewässer (2. Ordnung) ist ausgebaut und begradigt, es fehlen ökologisch funktionsfähige Strukturen [Horlacher, A. (2002)].

Für das Neubaugebiet „Döttinger Strasse/Breite Straße“ war eine Entwässerungsplanung erforderlich. Das vorhandene Mischkanalnetz ist nicht für einen Anschluss des Neubaugebietes ausgelegt. Dementsprechend kommt nur eine Trennkanalisation oder eine dezentrale Regenwasserbewirtschaftung (bzw. Kombinationslösungen) in Frage.

Innerhalb des Stadtgebietes gibt es bereits 9 Regenüberläufe, die in die Kupfer abschlagen. Die einmal im Jahr auftretende Entlastungsmenge ( $T=1$ ) liegt dabei nach einer überschlägigen Berechnung bei etwa 5,15 m<sup>3</sup>/s. Demgegenüber steht die Anforderung der Wasserbehörde, dass die Einleitung den 3-fachen Mittelwasserabfluss nicht übersteigen soll. Der Mittelwasserabfluss der Kupfer beträgt in Kupferzell  $MQ=0,770$  m<sup>3</sup>/s. Die zulässige Einleitmenge beträgt demnach (bei einer Überschreitungshäufigkeit von einmal pro Jahr) 2,3 m<sup>3</sup>/s. Allein durch die vorhandenen Regenüberläufe wird bereits mehr als die doppelte Wassermenge eingeleitet. Das führt zu der Forderung, die Einleitungen aus dem Neubaugebiet möglichst gering zu halten. Die Wasserbilanz des unbebauten Gebietes (Abb. 9) zeigt allerdings, dass auch im natürlichen Zustand ein Oberflächenabfluss stattfindet. In Absprache mit der Wasserbehörde wurde für das Neubaugebiet eine zulässige Abflussspende von 10 l/s\*ha vereinbart.

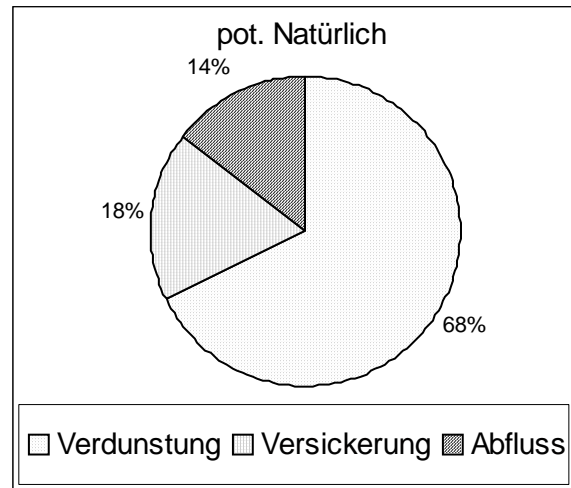


Abb. 9: Überschlägige Wasserbilanz für den potentiell natürlichen Zustand nach Angaben aus dem hydrologischem Atlas Deutschland

#### 4.2.2. Varianten

Es wurden ein konventionelles Trennsystem, eine dezentrale Variante und eine semi-dezentrale Lösung für die Niederschlagsentwässerung untersucht.

Tab. 5: Untersuchungsvarianten

Beschreibung	Variante	Drosselabfluss [l/(s*ha)]
Regenwasserkanal Rückhaltebecken	Trenn+Becken	10
Mulden-Rigolen- Elemente	MRE	-
Regenwasserkanal Muldenrigolensystem+ Rückhaltebecken	MRS+kl.Becken	10

Für alle drei Varianten gilt die geforderte Einleitungsbeschränkung von 10 l/(s\*ha)). Für das Trennsystem wurde ein Rückhaltebecken mit einem Volumen von 1900 m<sup>3</sup> bemessen. In der Variante MRE wurden dezentrale Mulden-Rigolen-Elemente für eine direkte Versickerung der Niederschlagswässer nahe dem Ort des Anfalls bemessen. Die dritte semidezentrale Lösung berücksichtigt den Wunsch der Kommune, mögliche Versickerungsanlagen nur im öffentlichen Raum und nicht auf privaten Grundstücken unterzubringen. In dieser wird daher der Wasserrückhalt mit Hilfe einer Speicherkaskade in Form eines Muldenrigolensystems im Einzugsgebiet gewährleistet. Aufgrund

eingeschränkter Platzverhältnisse wird für die Einhaltung der maximalen Einleitungsmenge ein zusätzliches Becken von 400 m<sup>3</sup> notwendig.

#### **4.2.3. Anforderungsebene „vor Ort“**

##### Flächennutzung/Nutzungsintensität

In dem geplanten Neubaugebiet finden sich die Flächennutzungen „Straßen“ und „Wohnflächen“. Bei den Straßenflächen handelt es sich um wenig befahrene Wohnstrassen und eine Erschließungsstraße. Die vorliegenden Flächennutzungen und Nutzungsintensitäten lassen keine erhöhte Verschmutzung erwarten.

##### Material/ Belagsart der Flächen

Die Satzung des Bebauungsgebietes schreibt vor, dass lediglich Dachvorbauten oder Dachgauben aus Metall zulässig sind, die Dachbedeckung muss aus Ziegel oder Dachstein ausgeführt werden. Damit ist von den Dachflächen nur eine geringe stoffliche Belastung zu erwarten. Für Stellplätze u.ä. ist kein bituminöses Material zulässig, die Straßen werden in Beton ausgeführt.

##### Lage und Entfernung zu möglichen Emissionsquellen

Es befinden sich keine Emissionsquellen in unmittelbarer Nähe. Das Vermischungsverbot wird in dem geplanten Baugebiet eingehalten, indem eine getrennte Ableitung bzw. Bewirtschaftung von Schmutz- und Regenwasser erfolgt. Die Flächenversiegelung wird in der Satzung auf das notwendige Maß beschränkt, so sind Gerätehütten und Kleintierstallungen nur bis zu einer Grundfläche von 15 m<sup>2</sup>/ Grundstück zulässig.

##### Fazit

Die innerhalb des geplanten Neubaugebietes anfallenden Niederschläge lassen kein erhöhtes Schmutzpotential erwarten und bedürfen daher keiner Reinigung. Damit können alle drei vorgeschlagenen Varianten bezüglich der ersten Anforderungsebene angewendet werden.

#### 4.2.4. Anforderungen an das Regenwasser für das „Einzugsgebiet der Erlaubniserteilung“

Durch die Versiegelung der Flächen im Zuge der Bebauung werden die Größe der Wasserhaushaltskomponenten im Einzugsgebiet deutlich verändert.

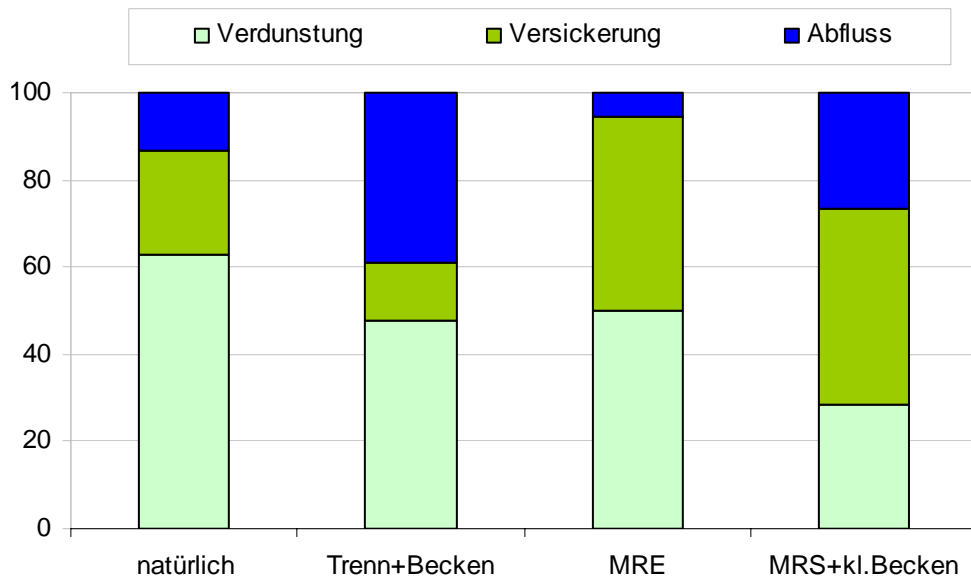


Abb. 10: Wasserbilanz des Bebauungsgebietes vor und nach der Bebauung

Der Oberflächenabfluss ist in den beiden Varianten mit Becken (Variante „Trenn+Becken“, Variante „MRS+kl.Becken“) höher als im natürlichen (unbebauten) Zustand, die Verdunstung ist dagegen wesentlich geringer als unter Referenzbedingungen. In der konventionellen Variante wird lediglich das Niederschlagswasser der unversiegelten Fläche (12,92 ha) versickert. Das auf den versiegelten Flächen anfallende Wasser wird komplett abgeleitet. Damit führt diese Lösung zur stärksten Abflusserhöhung (Erhöhung um 26 Prozentpunkte), bei der Teilversickerung in der semi-dezentralen Variante ist der Abfluss ebenfalls noch über 10 Prozentpunkte gegenüber dem unbebauten Zustand erhöht.

Die dezentrale Variante (MRE) ergibt durch die vollständige Versickerung sogar zu geringere Abflüsse, der verbleibende Wert stellt den Abfluss der unversiegelten Flächen zuzüglich des Wassers der zulässigen Überlaufereignisse dar.

#### 4.2.5. Anforderungen an das Regenwasser bei „Einleitung in ein Oberflächengewässer“

Bei der Einleitung von Niederschlagsabwasser in ein Oberflächengewässer müssen sowohl die stofflichen als auch die hydraulischen Aspekte betrachtet werden.

Die Kupfer ist durch die Mischwassereinleitungen in Kupferzell bereits hydraulisch und stofflich überlastet.

##### Hydraulische Belastung

In Absprache mit den Behörden wurde für das Baugebiet eine Abflussspende von 10 l/(s\*ha) festgelegt. Fraglich ist jedoch, ob mit dieser eingeschränkten Einleitmenge ein Schutz der Gewässerorganismen an der Flusssohle vor hydraulischem Stress gewährleistet werden kann. Ein Bewertungskriterium zur Berücksichtigung des hydraulischen Stress stellt beispielsweise der potentiell natürliche, einmal im Jahr auftretenden Abfluss HQ1 [BWK M3,1999] dar. Eine überschlägige Abschätzung wurde mit dem vereinfachten Nachweisverfahren durchgeführt. Dabei kann nicht das Neubaugebiet separat betrachtet werden, sondern das geschlossene Siedlungsgebiet von Kupferzell (incl. Neubaugebiet) muss betrachtet werden.

Folgende Annahmen wurden getroffen:

- Befestigte Fläche des geschlossenen Siedlungsgebietes  $A_{red}$ : 150 ha
- Potenziell naturnaher jährlicher Hochwasserabfluss  $HQ_{1,pnat}$  [nach BWK- M3, 1999]: 150 l/(s\*km<sup>2</sup>)
- Einzugsgebiet der Kupfer bis Kupferzell  $A_{EO}$ : 40 km<sup>2</sup>
- Multiplikationsfaktor für zulässige Abflusserhöhung  $x = 0,1$

Nach Gleichung 1 Kapitel 3.1.4 ergibt sich für das gesamte Siedlungsgebiet Kupferzell eine zulässige Einleitmenge von 660 l/s.

Damit zeigt sich, dass die vorhandenen Einleitungen von 5,15 m<sup>3</sup>/s den zulässigen Wert bereits um ein vielfaches überschreiten. Für das Neubaugebiet würde daraus resultieren, dass keine weitere Einleitung in das Gewässer mehr zulässig ist. Berücksichtigt werden muss allerdings, dass auch im natürlichen Zustand ein Oberflächenabfluss stattfindet.



### Volumen und stoffbezogene Gewässerbelastung

Die unterschiedlichen Planungsvarianten wurden hinsichtlich der Gesamtwassermenge und der eingeleiteten Stofffrachten verglichen (Tab. 6).

*Tab. 6: In die Kupfer eingeleitete Wassermengen und Stofffrachten (Mittlere Jahreswerte aus Langzeitsimulation abgeleitet)*

Frachten	Trenn+Becken	MRE	MRS+kl.Becken
CSB[kg(ha*a)]	443	0,6	76
AFS[kg(ha*a)]	228	0,4	17
NH4-N[kg(ha*a)]	64	0,1	7
BSB[kg(ha*a)]	40	0,1	5
P[kg(ha*a)]	7	0	2
Wassermenge(m³/a)	76462	109	43021

Mit den höchsten Wassermengen, die durch eine konventionelle Entwässerungslösung in das Gewässer eingeleitet werden, werden meist gleichzeitig die größten Stofffrachten eingetragen. Besonders der Vergleich mit der dezentralen Lösung, in der durch die 6 Überlaufereignisse eine Fracht eingetragen wird, zeigt, dass eine direkte Ableitung des Niederschlagswassers in das Gewässer eine stoffliche Belastung darstellt. Dabei müssen die eingeleiteten Stofffrachten nicht immer zu akuten Gewässerproblemen führen. Der Eintrag von Stickstoff und Phosphor wird erst für Standgewässer bzw. Ästuarien und Meere problematisch, da die Siedlungsdichte und die urbane Überprägung der Gewässer keinen vollständigen Stoffabbau im Gewässerverlauf erwarten lassen und damit die Gefahr der Eutrophierung besteht.

Betrachtet man den spezifischen Gebietswert für abfiltrierbare Stoffe, so wird der vorgeschlagene Grenzwert durch das konventionelle System überschritten (228 kg/(ha\*a) > 200 kg/(ha\*a)), die Werte für die beiden anderen Varianten 0,4 kg/(ha\*a) MRE und 17 kg/(ha\*a) MRS+kl.Becken verdeutlichen den positiven Effekt durch die Bodenpassage.

Für eine gesamte Stoffbilanz wurden weiterhin die in Boden/ Grundwasser eingetragenen Stofffrachten berücksichtigt (Tab. 7). Selbst bei dieser Gesamtbetrachtung (Tab. 8) kann mit der dezentralen und semidezentralen Variante die stoffliche Anforderung < 200 kg/(ha\*a) mehr als eingehalten werden.

Tab. 7: In den Boden eingeleitete Stofffrachten

Frachten	Trenn+Becken	MRE	MRS+kl.Becken
CSB[kg(ha*a)]	0	122,9	57
AFS[kg(ha*a)]	0	26,4	12
NH4-N[kg(ha*a)]	0	11,9	5
BSB[kg(ha*a)]	0	7,4	3
P[kg(ha*a)]	0	3,3	2

Tab. 8: Gesamtfracht aus dem Einzugsgebiet (Einleitung in Gewässer und GW/ Boden)

Frachten	Trenn+Becken	MRE	MRS+kl.Becken
CSB[kg(ha*a)]	443	124	132
AFS[kg(ha*a)]	228	27	29
NH4-N[kg(ha*a)]	64	12	13
BSB[kg(ha*a)]	40	7	8
P[kg(ha*a)]	7	3	4

#### Vergleich der Abflussspitzen

Die Spitzenabflüsse ergeben sich je nach Variante nur aus der Überstauwassermenge (Variante MRE) oder aus der Summe von Überstauwassermenge und Drosselabfluss (Varianten Trenn+Becken, MRS+kl.Becken).

Da für eine detaillierte Berechnung der Abflüsse von natürlichen Flächen die notwendigen Eingangsgrößen nicht zur Verfügung standen, werden im Folgenden nur die Untersuchungsvarianten miteinander verglichen.

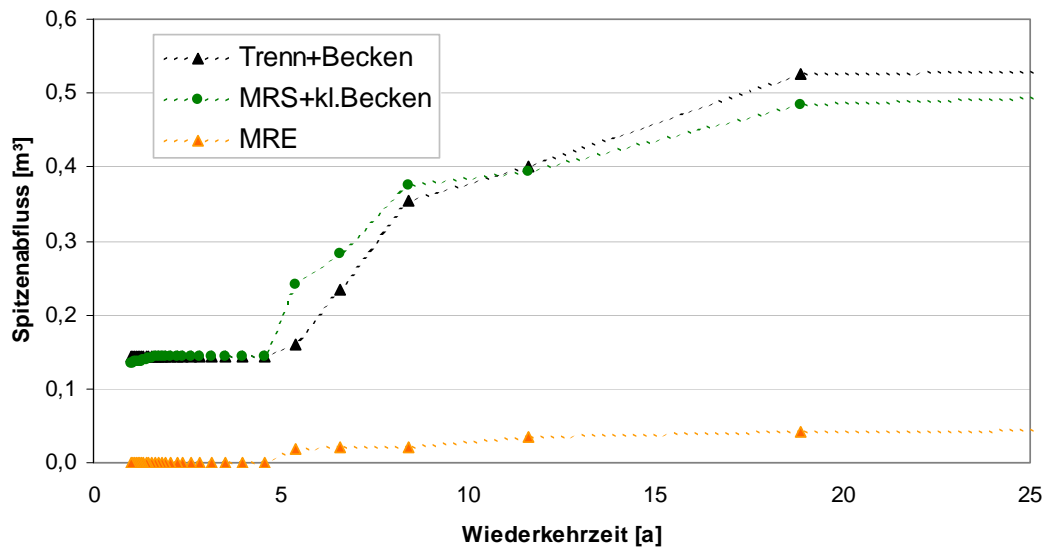


Abb. 11: Wiederkehrzeiten von Spitzenabflüssen der verschiedenen Varianten

Der Unterschied zwischen den beiden, auf einen Drosselabfluss bemessenen Varianten (Trenn+Becken, MRS+kl.Becken) ist gering. Die Spitzenabflüsse aus den Mulden-Rigolen-Elementen (=Überlaufwasser) sind dagegen deutlich geringer. Der langsame Anstieg der Abflüsse bei Variante MRE bei steigenden Wiederkehrzeiten ergibt sich daraus, dass während der Ereignisse weiterhin kontinuierlich Wasser versickert und die Rückhalteraten im Gebiet sehr hoch sind (siehe auch Beispiel in 3.1.6.).

#### 4.2.6. Anforderungen an Einleitung in Boden und Grundwasser

Zur Einleitung von Niederschlagswasser in Boden und Grundwasser kommt es nur in den beiden Varianten mit Versickerung (MRE, MRS+kl.Becken). Detaillierte Angaben zu verwendeten Baumaterialien lagen nicht vor, so dass die Stoffkonzentrationen nicht berechnet und auch nicht mit den Forderungen der Bodenschutzverordnung und Geringfügigkeitsschwellenwerte der LAWA verglichen werden konnten. Zu erwarten ist jedoch bei den vorliegenden Flächennutzungen, dass die auftretenden Konzentrationen die notwendigen Anforderungen insbesondere durch die Reinigung in der Bodenpassage erfüllen.

#### 4.3. Ökonomischer Variantenvergleich

Die ökonomische Evaluation des Neubaugebietes Kupferzell wird anhand des GRIP-Verfahrens ausführlich dargestellt. Sie ist in der Arbeit von SENGOTTA/SCHWERES [1994] beschrieben.

In dem folgenden Abschnitt wird eine Zusammenfassung der wesentlichen Inhalte angeführt, um für alle Leser des vorliegenden Forschungsberichtes eine inhaltliche Vollständigkeit zu gewährleisten. Daran anschließend wird die Methodik auf das Neubaugebiet Kupferzell angewendet.

Wie bereits erwähnt, erfolgt die Gewichtung der Kriterien anhand der Methode der sukzessiven Vergleiche. Wie ZANGENMEISTER [1971] und RINZA/SCHMITZ/SCHARF [1977] ausführlich dargelegt haben, ist die Methode der sukzessiven Vergleiche eine Methode, um die Knotengewichte zu ermitteln. Die dort angegebenen Obergrenzen von sechs bis sieben Unterzielen, die zu einem Oberziel gehören, können in dem vorliegenden Kriterienkatalog (Kapitel 8) auch noch bei Erweiterung um ein bis zwei Unterkriterien eingehalten werden .

#### **4.3.1. Bewertung**

Die Bewertung mit einer Differenzierungstiefe von sechs Einstufungsmöglichkeiten ist praktikabel und auch für den ungeübten Anwender einsetzbar, da jeder Anwender mit dem Bewertungsschema von „sehr gut“ bis „ungenügend“ vertraut ist.

Aus Gründen der Objektivität ist es zwingend, für jedes Kriterium eine Bewertungsrichtlinie darzulegen. Dadurch wird die Transparenz der Bewertung und Entscheidungsfindung deutlich erhöht. Wie bereits angesprochen, befinden sich die Bewertungsrichtlinien, wann ein Kriterienpunkt mit „sehr gut“, „befriedigend“ und „mangelhaft“ zu bewerten ist, in Kapitel 8.

Da das Verfahren methodisch auf der Nutzwertanalyse fußt, ist die Bildung eines Alternativensystemwerts durch gewichtete Aggregation der Bewertungen möglich. Da aber mit einem höheren Alternativensystemwert auch ein besseres Verfahren assoziiert wird, muss eine Umrechnung der Bewertung erfolgen. Dieses lässt sich jedoch durch eine Invertierung der Bewertung leicht erreichen. Die Präsentation der Ergebnisse und die Entscheidungsfindung erfolgt in drei Ebenen, die nachfolgend ausführlicher erklärt werden:

- Der errechnete Alternativensystemwert
- Die Ergebnisdarstellung als Kressektordiagramm
- Die Gegenüberstellung ermittelter Analyseergebnisse zu den errechneten Kosten im Nutzwert-Wirtschaftlichkeits-Diagramm.

### 4.3.2. Alternativensystemwert

Die Bewertungen zu den einzelnen Kriterien erfolgt mit den Stufen 1 / 1,5 / 2 / 2,5 / 3 / 3,5 / 4 / 4,5 / 5 und zusätzlich 6 für den nicht gesetzeskonformen bzw. untragbaren Zustand. Die Zwischenstufen werden bei der Arbeit mit GRIP benötigt, da auf diese Weise 10 Stufen trennscharf unterschieden werden können. Dies gilt besonders beim Einsatz von Bewertungsfunktionen, der auch eine stufenlose Differenzierung der Note rechtfertigen würde.

Pro Kriterium wird die Bewertung (B) in einen Erfüllungsgrad E im Intervall (0,5) umgerechnet nach der Formel

$$6 - B = E \text{ (Gl. 3)}$$

Diese Erfüllungsgrade werden nach der Formel der Nutzwertanalyse gewichtet, aggregiert und nach neuer Definition zum Alternativensystemwert (ASW) im Intervall (0%, 100%) umgeformt nach der Formel:

mit g = absolute Gewichtung

$$A S W = \left( \sum g * E \right) * 20 [\%] \quad \text{(Gl. 4)}$$

Der erste Teil der Formel zeigt die Addition der gewichteten Teilnutzen. Es wird deutlich, dass der maximale Wert, den die gewichteten Teilnutzen annehmen können, fünf ist. In diesem Fall wurden alle Kriterien mit einer 1 bewertet. Dementsprechend ist der geringste Wert, den die gewichteten Teilnutzen annehmen können, der Wert 0. In diesem Fall sind alle Kriterien mit einer sechs bewertet worden. Um den ASW auf einer Prozentskala auszudrücken, muss diese Kennzahl auf einem Bereich im Intervall 0 bis 100% abgebildet werden. Um diese maximalen und minimalen Werte als Intervallgrenzen abbilden zu können, muss der erste Teil der Formel mit dem Wert 20 multipliziert werden, was aus dem zweiten Teil der Gleichung deutlich wird. Dieser Alternativensystemwert (ASW) gibt die Güte der untersuchten Planungsalternative auf einer Skala von 0-100% an. Er stellt die gewichtete Durchschnittsnote der Untersuchung dar und kann auch als Kennwert für den Nutzen bezeichnet werden.

### 4.3.3. Homogenität

Bei der ganzheitlichen Betrachtung von Systemen ist die Verrechnung von Nutzen bei der Bildung des ASW nicht zu vermeiden. Da auch der neue ASW schlecht erfüllte

Kriterien mit gut erfüllten Aspekten verrechnet, weist dieser Kennwert keine Informationen aus über die Einheitlichkeit der verschiedenen Erfüllungsgrade der bewerteten Planungsalternative. Es ist aber von großem Interesse, wie viele außergewöhnlich schlechte Bewertungen aufgetreten sind und ggf. mit außergewöhnlich guten Erfüllungsgraden verrechnet wurden. Als neuen Kennwert zu dieser Forderung wurde die Homogenität der Kriterienausprägung des geplanten oder bestehenden Systems entwickelt. Sie ist ein Maß für die Streuung der Bewertungen und als „Einheitlichkeitsfaktor“ zu interpretieren. Sie soll anzeigen, wie einheitlich das geplante System ausgeprägt ist bzw. in wie weit einzelne Lücken bei der ganzheitlichen Optimierung zurückgeblieben sind.

Analog zum ASW sollte auch diese Zahl steigende Werte annehmen, wenn sie „besser“ wird, also wenn alle Kriterien ähnlich gut ausgeprägt sind. Diese Homogenität lässt sich als gewichtete Standardabweichung der ermittelten Bewertungen ausdrücken. Die allgemeine Formel für die Standardabweichung lautet:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{Gl. 5})$$

Durch die entsprechende Modifikation dieser Formel entsteht:

$$s = \sqrt{\sum_{j=1}^m g_j (E_j - ASW)^2} \quad (\text{Gl. 6})$$

Die entscheidende Erweiterung der ursprünglichen Formel ist hier die gewichtete Berücksichtigung der einzelnen Abweichungen vom Durchschnittswert (ASW). Dies wird erreicht durch jeweilige Multiplikation mit den Gewichtungsfaktoren ( $g_j$ ) als Ersatz für die abschließende Division durch die Anzahl der Kriterien ( $m$ ), wie sie nach der allgemeinen Formel für Standardabweichungen vorzunehmen wäre. Aus den o.g. Gründen und mit Blick auf die Verrechenbarkeit wird auch diese Kennzahl auf einen Wert im Intervall 0 bis 100% abgebildet. Da die Homogenität des untersuchten Systems mit steigender Standardabweichung fällt, ist zusätzlich noch eine Transformation nötig.<sup>5</sup> Analog zur Berechnung des ASW werden die Grenzwerte der Homogenität und deren Berechnung genauer erklärt: Beträgt die Homogenität 100%, sind alle Kriterien genau gleich bewertet worden, der Wert der Wurzel nimmt den Wert Null an. Dieser Wert wird von 2,5 subtrahiert (2,5 stellt die gewichtete Mitte des betrachteten Intervalls (0,5) dar),

der Differenzwert wird mit dem Wert 40 multipliziert, damit die Obergrenze von 100% erreicht wird. Eine Homogenität von 0% ergibt sich, wenn die Kriterien nur mit 1 oder 5 bewertet und zusätzlich so gewichtet wurden, dass insgesamt 50% mit sehr gut und die anderen 50% mit mangelhaft bewertet wurden. Der Wert des Wurzelausdrucks beträgt 2,5. Dieser Wert wird wieder von 2,5 subtrahiert. Der Differenzwert ist Null und somit stellt sich als Prozentwert für die Homogenität der Wert Null ein.

$$Hg = 40 \left( 2,5 - \sqrt{\sum g \left( E - \frac{ASW}{20} \right)^2} \right) \quad (\text{Gl. 7})$$

Die Homogenität stellt einen Kennwert für die Empfindlichkeit des ASW gegenüber Gewichtungverschiebungen dar, denn je einheitlicher die verschiedenen Bewertungen (bzw. Erfüllungsgrade) sind, desto stabiler bleibt der ASW bei möglichen Veränderungen von Gewichtungen.

#### 4.3.4. Multidimensionaler Zielerfüllungsgrad

Als höchstaggregierte Kennzahl aller nicht monetären Aspekte wurde der Multidimensionale Zielerfüllungsgrad (MuZeg) eingeführt. Der MuZeg setzt sich zusammen aus dem Alternativensystemwert und der Homogenität nach der Formel :

$$MuZeg = \sqrt{ASW * Hg} \quad (\text{Gl. 8})$$

Dieser Wert wird also für jedes Verfahren berechnet und auf der y-Achse des Nutzwert-Wirtschaftlichkeits-Diagramms aufgetragen. Auf diese Weise wird auch die Einheitlichkeit der Kriterienerfüllung im nicht monetären Kennwert berücksichtigt. Der ASW, die Homogenität und der Multidimensionale Zielerfüllungsgrad werden für jede Alternative in dem jeweiligen Kreissektordiagramm angegeben und sind somit direkt verfügbar.

#### 4.3.5. Das Kreissektordiagramm

Das Kreissektordiagramm zeigt die graphische Darstellung der Bewertungsergebnisse zum aktuellen Kriterienkatalog. Die Gesamtheit aller Kriterien wird über 360° dargestellt.

---

<sup>5</sup> Der ASW wird nur dann durch 20 geteilt, wenn er definitionsgemäß als Prozentzahl vorliegt.

Dabei repräsentiert jeder Kreissektor ein Kriterium der zweiten Ebene.<sup>6</sup> Der Öffnungswinkel des Sektors veranschaulicht die absolute Gewichtung und der Radius die Bewertung des dargestellten Kriteriums. Hohe Gewichtung führt dabei zu großen Öffnungswinkeln und gute Bewertungen zu großen Radien. Ein voller Kreis steht daher für ein gutes Arbeitssystem bzw. für eine gute Alternative. Die Kreissektoren sind in Abhängigkeit von ihrer Bewertung benotet:

- sehr gut erfüllte Kriterien (Noten 1 und 1,5):
- gut erfüllte Kriterien (Noten 2 und 2,5):
- befriedigend erfüllte Kriterien (Noten 3 und 3,5):
- schlecht erfüllte Kriterien (Noten 4 und 4,5):
- mangelhaft erfüllte Kriterien (Noten 5):

Die Sektoren von ungenügend erfüllten Kriterien bleiben im Kreissektordiagramm leer, die entsprechende Alternative hätte bereits zuvor verworfen oder bzgl. des Kriteriums nachgebessert werden müssen. Der zusätzlich im Diagramm eingetragene Vollkreis stellt den ASW dar, dessen genauer Wert auch oben im Bild abgelesen werden kann. Das Kreissektordiagramm dient zur graphischen Darstellung der Güte und des Nutzens der jeweiligen Alternative. Die wichtigen Beurteilungskriterien springen dabei durch große Öffnungswinkel ins Auge, die schlecht ausgeprägten durch tiefe Einschnitte des entsprechenden Kreissektors. Wenn beide Merkmale zusammentreffen, ist ein wichtiges Kriterium offensichtlich schlecht erfüllt.

#### **4.3.6. Anwendung auf das Gebiet Kupferzell**

Für das Neubaugebiet Kupferzell wurden folgende Varianten der Entwässerung untersucht:

- (1) Eine dezentrale Variante bestehend aus einem Mulden-Rigolen-System und einem klein dimensionierten Kanalsystem.
- (2) Eine konventionelle Variante mit einem Kanalsystem und einem Rückhaltebecken.
- (3) Eine semi-dezentrale Variante mit MRS und einem

---

<sup>6</sup> Wenn ein Kriterium der zweiten Ebene in weitere Unterkriterien aufgegliedert ist, dann wird der Kreissektor als Zwischenergebnis aus den Daten der entsprechenden Unterkriterien dargestellt.



Kanalsystem/Rückhaltebecken die im Vergleich zur konventionellen Variante kleiner dimensioniert wurden.

Nachfolgend werden die Bewertungsergebnisse der ganzheitlichen Analyse der Varianten als Kissektordiagramme dargestellt:

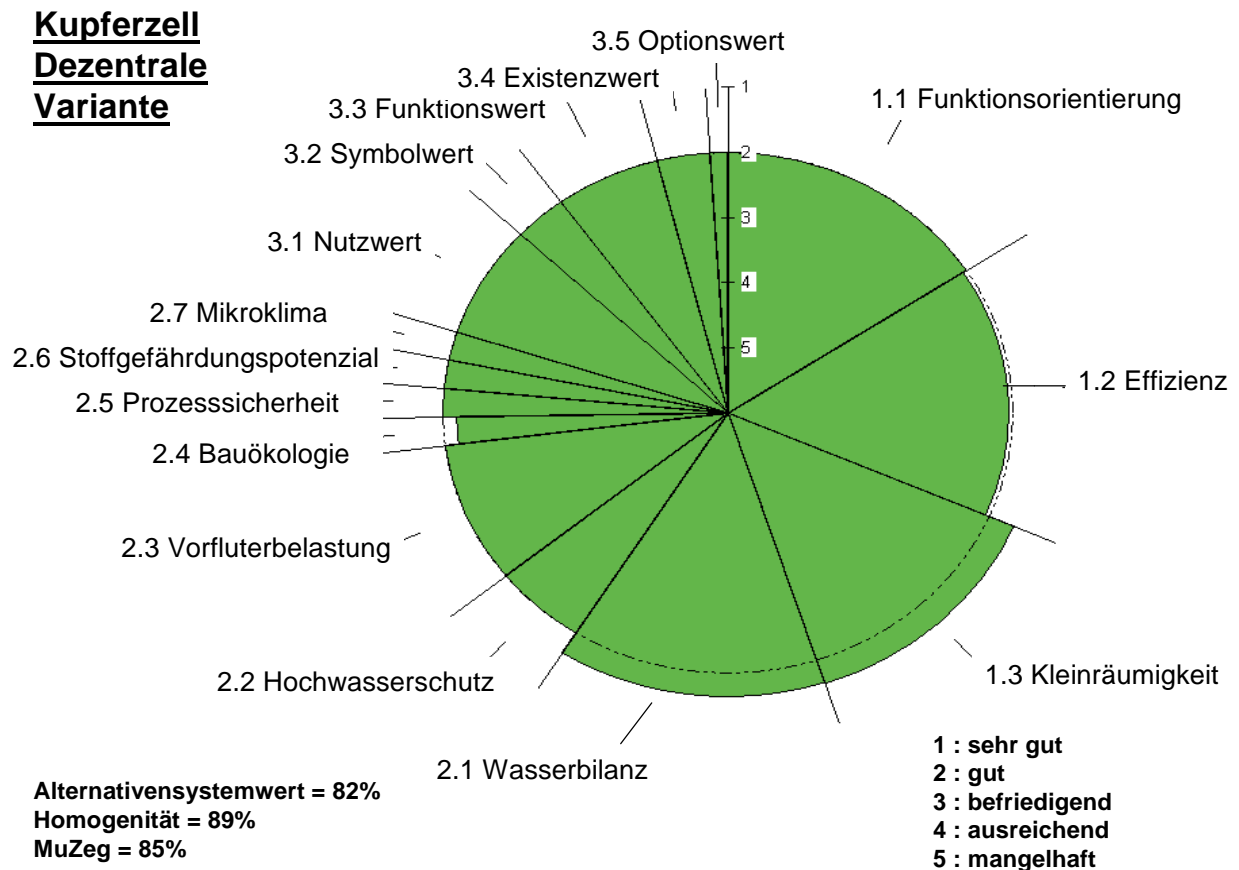


Abb. 12: Kupferzell, dezentrale Variante

Die dezentrale Variante stellt sich sehr homogen dar. Die Homogenität liegt bei 89%. Graphisch zeigt sich das in einem nahezu gleichmäßig runden Kreis. Der ASW hat einen Wert von 82%. Alle Kriterien sind als gut erfüllt anzusehen, wobei die Kriterien 1.3 Kleinräumigkeit und 2.1 Wasserbilanz leicht überdurchschnittlich ausfallen und das Kriterium 2.4 Bauökologie im Verhältnis zum Durchschnitt etwas schlechter abschneidet. Die Multidimensionale Zielerfüllung ist mit 85% als hoch anzusehen.

**Kupferzell**  
**Konventionelle**  
**Variante**

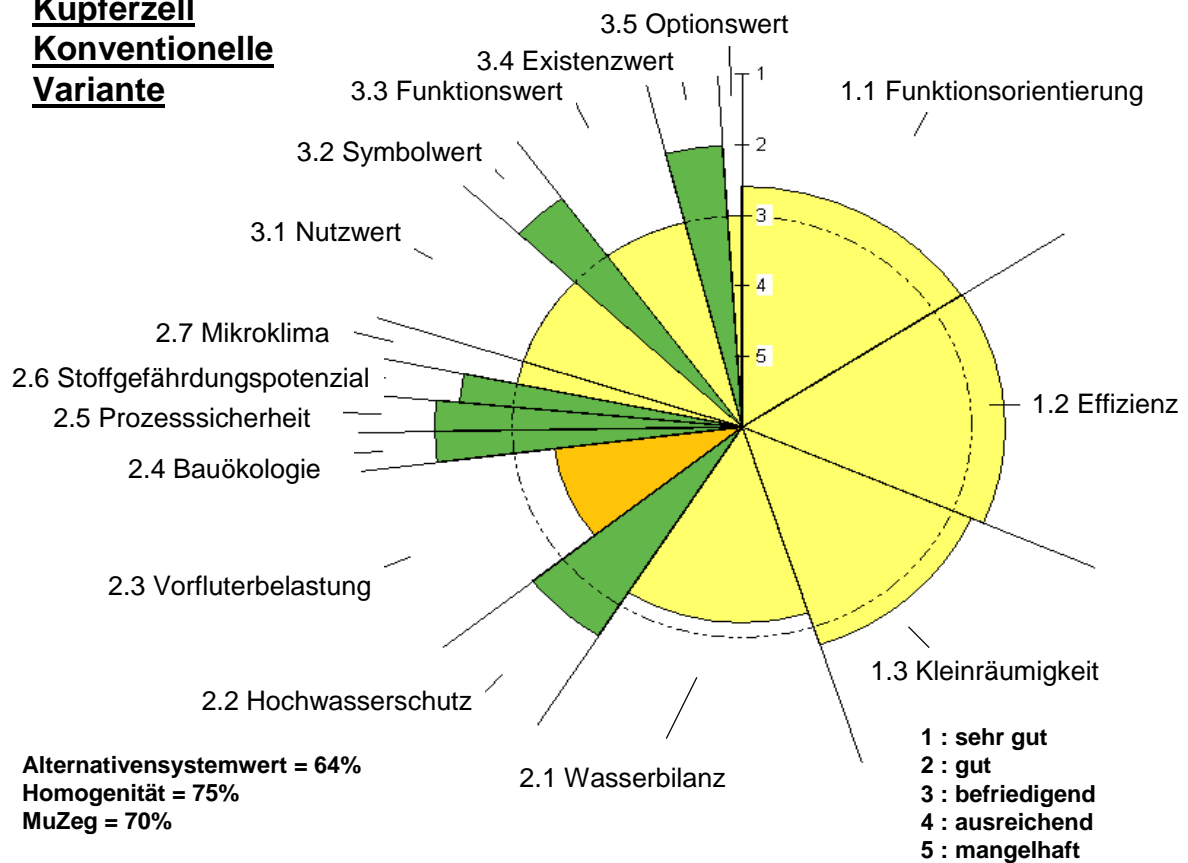


Abb. 13: Kupferzell, konventionelle Variante

Es fällt auf, dass der ASW der konventionellen Variante um ca. 20% niedriger liegt als dies bei der dezentralen Variante der Fall ist. Auch die Homogenität fällt mit 75% erheblich niedriger aus, was sich graphisch an den deutlich unterschiedlich langen Sektorbereichen erkennen lässt. Die Multidimensionale Zielerfüllung ist mit 70% dementsprechend geringer als bei der dezentralen Variante.

**Kupferzell**  
**Semi-**  
**Dezentrale**  
**Variante**

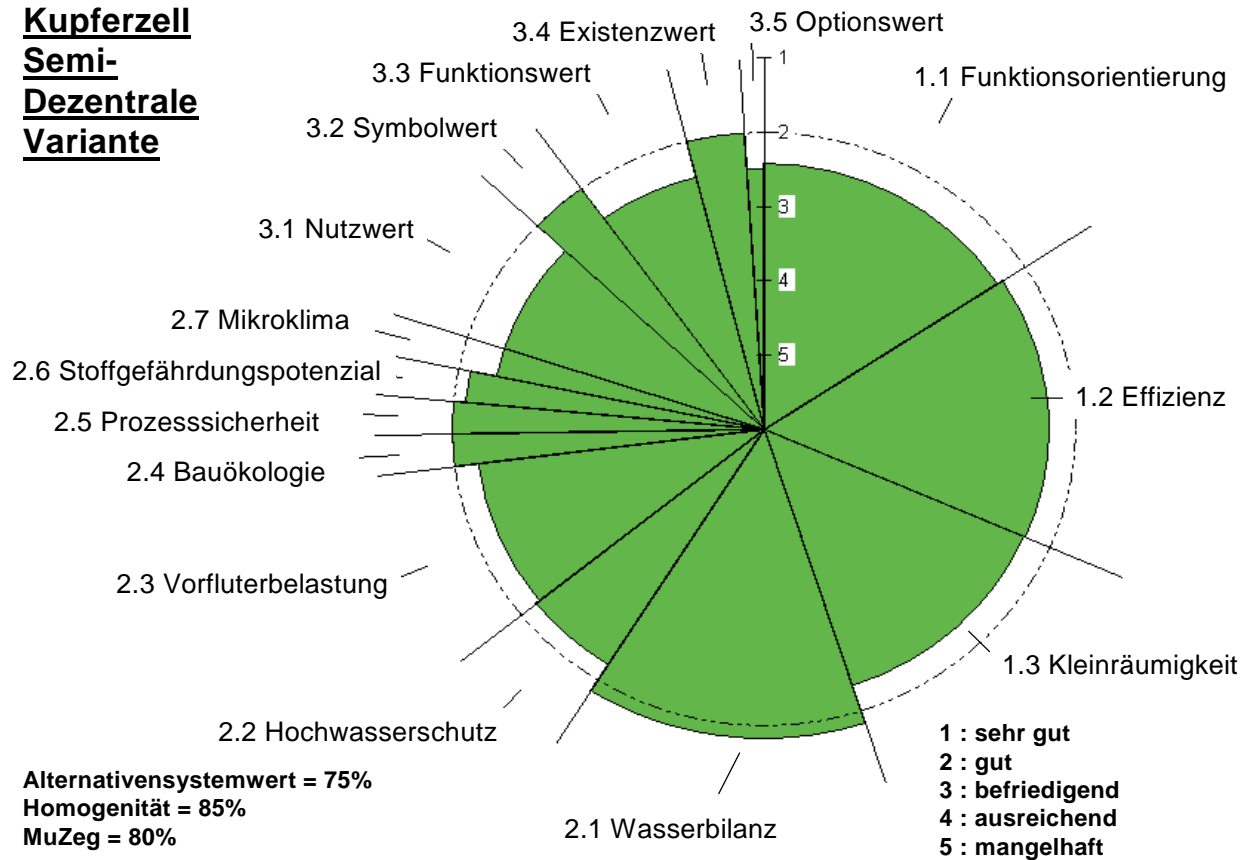


Abb. 14: Kupferzell, semi-dezentrale Variante

Auch die Kriterienbewertung der semi-dezentrale Variante stellt sich durchweg gut dar. Der ASW fällt mit 75% geringer aus, als dies bei der dezentralen Variante der Fall ist und auch die Homogenität zeigt sich mit 85% etwas niedriger. Die Multidimensionale Zielerfüllung ist mit 80% dementsprechend geringer als bei der dezentralen Variante von der konventionellen Variante, die einen MuZeg von 70% aufweist, kann sie sich jedoch deutlich positiv abheben.

Nachfolgend werden die Kennwerte der unterschiedlichen Varianten zusammengefasst und einander gegenübergestellt:

Tab. 9: Kennwerte des Neubaugebietes Kupferzell

Variante	ASW(%)	Hg(%)	MuZeg(%)
Dezentrale Entwässerung	82	89	85
Semi-dezentrale Entwässerung	75	85	80
Konventionelle Entwässerung	64	75	70

Die dezentrale Variante besitzt den höchsten Nutzwert und stellt das System dar, das gegenüber sich verändernden Rahmenparametern die größte Stabilität aufweist. Diese Werte bestätigen die bisherigen systemtheoretischen Forschungsergebnisse, die gezeigt haben, dass dezentrale Anlagen aufgrund der Kleinräumigkeit/Diversität eine höhere Flexibilität und Anpassungsfähigkeit besitzen.

#### 4.3.7. Das Nutzwert-Wirtschaftlichkeitsdiagramm

Diese Ergebnisse der multidimensionalen Untersuchung werden nachfolgend mit den monetären Daten jeder Alternative verknüpft. Diese Verknüpfung erfolgt graphisch anhand des Nutzwert-Wirtschaftlichkeitsdiagramms. Als Kennwert für die monetären Aspekte ist im GRIP-Verfahren der Monetäre Zielerfüllungsgrad (MoZeg) auf einer Skala von 0-100% vorgesehen. In Analogie zum MuZeg stehen dabei höhere Prozentwerte für finanziell günstigere Verfahren. Der Monetäre Zielerfüllungsgrad (MoZeg) stellt den monetären Aspekt einer Alternative dar. Er basiert in diesem Einsatz des GRIP-Verfahrens auf den Investitionskostenbarwerten. In diesem Fall entspricht der MoZeg im Prinzip der „wirtschaftlichen Wertigkeit“ [SENGOTTA/SCHWERES 1994] und wird berechnet nach der Formel:

$$MoZeg = \frac{\text{Investitionskostenbarwert der preiswertesten Alternative}}{\text{Investitionskostenbarwert der zu berechnenden Alternative}} * 100 \quad [\%] \quad (\text{Gl. 9})$$

Bei einem MoZeg auf Basis der Investitionskostenbarwerte wird also mit einem MoZeg von 100% die preiswerteste Alternative ausgezeichnet. Der MoZeg wird auf einer Skala von 0-100% angegeben. Dieser Wert wird für jede Alternative berechnet und auf der x-Achse des Nutzwert-Wirtschaftlichkeits-Diagramms aufgetragen.

#### 4.3.8. Scoring

Der Kennwert „Scoring“ verrechnet den Multidimensionalen Zielerfüllungsgrad (MuZeg) und den Monetären Zielerfüllungsgrad (MoZeg) zu einem ganzheitlichen Kennwert. Dieser Kennwert wird aus dem Nutzwert-Wirtschaftlichkeits-Diagramm nach folgender Formel berechnet:

$$Scoring = \frac{MuZeg * Skalierungsf.(y) + MoZeg * Skalierungsfaktor.(x)}{Skalierungsfaktor.(y) + Skalierungsfaktor.(x)} \quad [\%] \quad (Gl. 10)$$

Das Scoring ist somit der höchstaggrierte Kennwert eines durch GRIP bewerteten Systems. Er stellt die Zusammenführung der Ergebnisse nach der dualen Vorgehensweise von GRIP dar.

#### 4.3.9. Zusammenfassung der Ergebnisse

Unter Einbeziehung der Kostenaspekte ist die dezentrale Variante die vorteilhafteste der drei Möglichkeiten. Für jede feste Kosteneinheit zeigt diese Variante den höchsten Zielerfüllungsgrad. Was sich auch in einem Scoring-Wert von 92,5 widerspiegelt. Die semi-dezentrale Variante zeigt einen höheren Nutzwert, ist aber etwas teurer als die rein konventionelle Form der Entwässerung. Da der Kostenunterschied jedoch sehr gering ausfällt und der Ökonomie in der Kriteriengewichtung ein hohes Gewicht beigegeben wurde, ist die semi-dezentrale Variante der konventionellen vorzuziehen. Dementsprechend liegt der Scoring-Wert der semidezentralen Variante mit 84 Punkten auch über dem der konventionellen Variante, die auf ein Scoring von 81,5 Punkten kommt. Diese Ergebnisse lassen sich leicht dem Nutzwert-Wirtschaftlichkeitsdiagramm (Abb. 15) entnehmen.

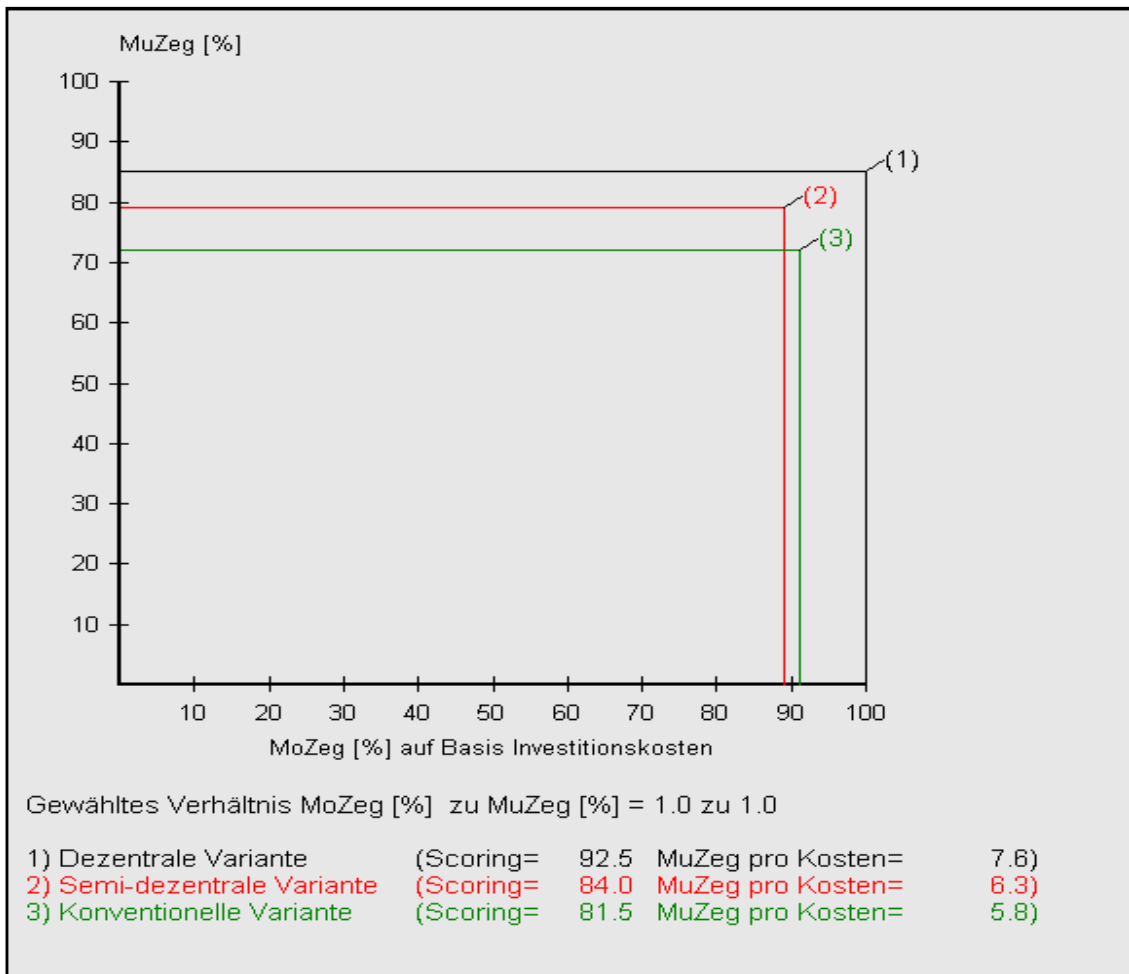


Abb. 15: Nutzwert-Wirtschaftlichkeitsdiagramm des Neubaugebietes Kupferzell.

Abschließend ist zu sagen, dass für die Gemeinde Kupferzell die dezentrale Variante sich als optimale der drei untersuchten Varianten darstellt. Das Ergebnis leitet sich aus der multidimensionalen und aus der monetären Zielerfüllung her. Da sowohl die Erstellung des Kriterienkatalogs als auch die Gewichtung und Bewertung unter systemtheoretischen Gesichtspunkten erfolgte, kann davon ausgegangen werden, dass diese Variante nicht nur zum gegenwärtigen Zeitpunkt die beste Alternative darstellt, sondern die Funktion auch bei sich zukünftig verändernden Umweltparametern gewährleisten wird.

## 4.4. Eigenheimsiedlung Pflost

### 4.4.1. Untersuchungsgebiet/ Problemstellung

Am Stadtrand von Baden-Baden wird im Ortsteil Oos das Baugebiet Pflost geplant. Es handelt sich dabei um eine Fläche von 1,06 ha, die mit Einzel- und Doppelhäusern bebaut werden soll (Dachflächen 0,26 ha, Straßenflächen 0,17 ha, sonstige Flächen 0,2 ha). Das angrenzende Stadtgebiet wird im Trennsystem entwässert und mündet in den Ooser Landgraben. Für das Neubaugebiet musste eine geeignete Lösung zur Regenwasserbewirtschaftung gefunden werden. Anhand einer Kanalnetzsimulation wurde nachgewiesen, dass eine ungedrosselte Einleitung der Abflüsse aus dem Baugebiet in das angrenzende Trennsystem bis zu einer Auftrittswahrscheinlichkeit von  $n=0,5$  (unter Einstau) möglich wäre. Stärkere Niederschlagsereignisse ( $n=0,33$  und  $n=0,2$ ) würden dagegen zu Überstauungen des vorhandenen Netzes führen.

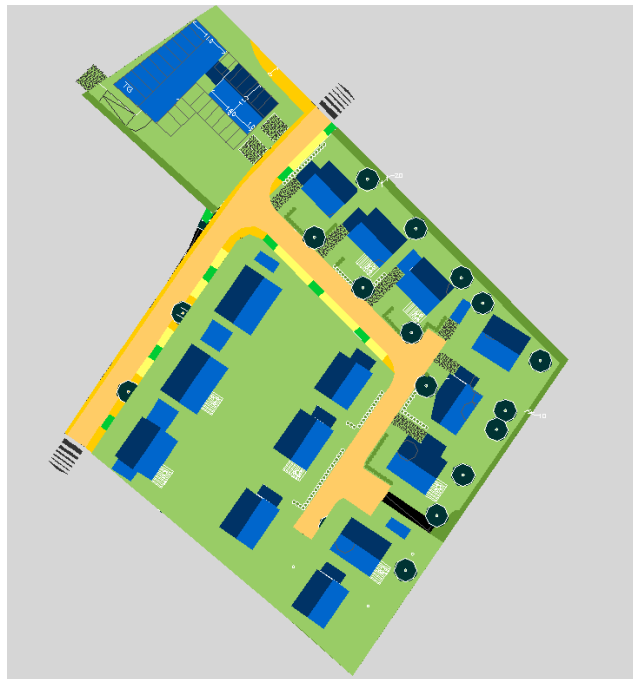


Abb. 16: Geplante Wohnbebauung „Pflost“ (aus Entwurf Bebauungsplan „Pflost“)

### 4.4.2. Varianten

Als konventionelle Lösung wurde eine Einleitung des Niederschlagswassers in das vorhandene Kanalnetz betrachtet. Um die Überstauungen auf eine Häufigkeit von 0,33

zu reduzieren, wurde ein Regenrückhaltebecken geplant. Eine Regenwasserbewirtschaftung auf den Grundstücken wurde als dezentrale Lösung untersucht. Geplant wurde ein Muldenrigolensystem mit gedrosselter Ableitung, sowie eine Versickerung in Mulden-Rigolen-Elementen, ohne Drosselabfluss.

Um eine Überlastung des vorhandenen Kanalnetzes auszuschließen, wurde sowohl für die konventionelle Variante, als auch für die Versickerung ein Drosselabfluss von  $10 \text{ l/(s*ha)}$  gewählt.

#### 4.4.3. Wasserbilanz

Die Wasserbilanz weist im unbebauten Zustand nur einen Oberflächenabfluss von 6% auf. Bei einer Entwässerung im Trennsystem kommen dagegen 45% des Niederschlages zum Abfluss. Die Oberflächenabflüsse des unbebauten Gebietes wurden in den Untersuchungsvarianten jeweils mit bewirtschaftet. Dies führt dazu, dass bei einer Versickerung in Mulden-Rigolen ohne Drosselabfluss nur 0,2% des Niederschlages abfließen. Bei einem Mulden-Rigolen-System mit der gleichen Drossel wie im konventionellen System kommt es zu einem Oberflächenabfluss von 21%. Damit kann nur mit der ungedrosselten Bewirtschaftung in MRE das Ziel Abflusserhöhung um max. 10 Prozentpunkte erreicht werden. Wählt man für das Mulden-Rigolen-Systeme allerdings einen etwas geringeren Drosselabfluss ( $5 \text{ l/(s*ha)}$ ), wird der Abfluss nur noch um 4 Prozentpunkte erhöht und die Anforderungen werden eingehalten.

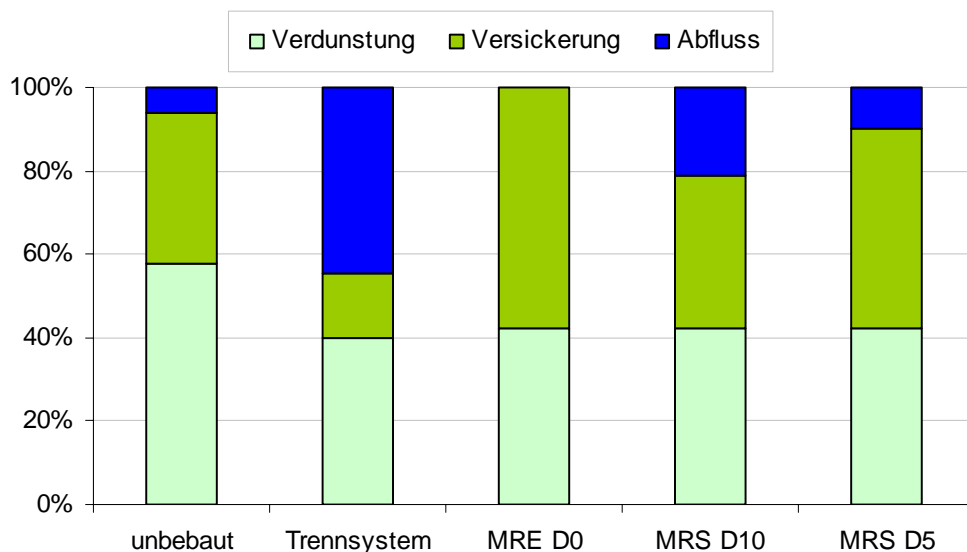


Abb. 17: Wasserbilanz des Bebauungsgebietes vor und nach der Bebauung



#### 4.4.4. Hydraulische Belastung

Eine Berechnung des einjährigen Hochwasserabflusses nach den Ansätzen des BWK M3 war mit dem vorhandenen Datenmaterial nicht möglich. Verglichen wurde statt dessen jeweils der kleinste jährliche Maximalwert der Langzeitsimulation (30 Jahre). Das bedeutet, der HQ1 wird nur auf das Baugebiet bezogen und nicht auf das Gesamteinzugsgebiet des Vorfluters.

Tab. 10: Einmal jährlich auftretende Abflussmenge HQ1

	unbebaut	konventionell	MRS D10	MRS D0
HQ1[l/s]	3,8	8,8	2,8	0

Der ermittelte HQ1 Wert ist mit umgerechnet 374 l/(s\*km<sup>2</sup>) hoch, es wurde jedoch keine Retention berücksichtigt. Setzt man diesen Wert in die Gleichung 1 nach BWK M3 ein, ergibt sich ein zulässiger Abfluss von 0,00421 m<sup>3</sup>/s für das Untersuchungsgebiet (Abfluss von versiegelten Flächen und Abfluss von natürlichen Flächen). Die konventionelle Variante ergibt einen mehr als doppelt so hohen einjährigen Abfluss. Bei der Mulden-Rigolen-Versickerung mit gedrosselter Ableitung wird ein geringerer Abfluss erreicht. Im System mit vollständiger Versickerung findet nur im Falle des Überlaufs (alle 5 Jahre) ein Abfluss statt, einen HQ1 gibt es damit nicht. Interessant ist, dass die Variante MRS D10 zwar die Zielsetzungen für die Wasserbilanz nicht ganz einhalten kann, bei der hydraulischen Belastung jedoch zu guten Ergebnissen führt. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, unabhängig voneinander die hydraulische Verträglichkeit einer Gewässereinleitung als auch die Wasserbilanz als Auswirkung für das Einzugsgebiet zu betrachten.

#### 4.4.5. Stoffliche Gewässerbelastung

Für das Regenrückhaltebecken im konventionellen System wurde für abfiltrierbare Stoffe eine Reinigungsleistung von 20% berücksichtigt (Reinigungsleistung der MRS siehe 3.1.5.). Die konventionelle Lösung führt zu deutlich höheren Stoffeinträgen in das Gewässer als die Varianten mit Mulden-Rigolen Bewirtschaftung (Tab.11). Dies begründet sich zum Einen auf der größeren Wassermenge als auch auf der fehlenden Reinigungsleistung. Ermittelt man den spezifischen AFS Eintrag in die Gewässer, ergibt sich für das Trennsystem ein Wert von 379 kg/(ha\*a), für das Mulden-Rigolen-System ein Wert von 29 kg/(ha\*a) und für die Mulden-Rigolen-Elemente 7,5 kg/(ha\*a).

Damit kann nur durch eine dezentrale Lösung die Forderung von  $< 200 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$  eingehalten werden.

Tab. 11: Oberflächlich in die Gewässer eingetragene mittlere jährliche Frachten

Stoff		CSB	AFS	NH <sub>4</sub> -N	BSB	P
Trennsystem	[kg/(ha*a)]	558	379	78	44	6
MRS	[kg/(ha*a)]	85	29	8	5	2
MRE	[kg/(ha*a)]	1,9	1,6	0,3	0,2	0,2

Tab. 12: In Grundwasser- und Boden eingetragene mittlere jährliche Frachten

Stoff		CSB	AFS	NH <sub>4</sub> -N	BSB	P
Trennsystem	[kg/(ha*a)]	0	0	0	0	0
MRS	[kg/(ha*a)]	80	23	7	4	2
MRE	[kg/(ha*a)]	163	50	16	9	0,02

Die Gesamtstofffrachten (Eintrag in die Gewässer + Eintrag in Grundwasser und Boden) sind bei verschiedenen MRS oder MRE Elementen gleich, da die Mulden jeweils auf eine Überstauhäufigkeit von 0,2 ausgelegt sind, die gesamte nicht überlaufende Wassermenge die Bodenpassage durchsickert und damit gereinigt wird. Bei einer Anlage mit Drosselabfluss fließt das gereinigte Niederschlagswasser teilweise direkt in das Gewässer, bei ungedrosselter Bewirtschaftung gelangt das gereinigte Wasser in das Grundwasser.

Tab. 13: Mittlere jährliche Gesamtfrachten (Direkteinleitung+Versickerung)

Stoff		CSB	AFS	NH <sub>4</sub> -N	BSB	P
konventionell	[kg/(ha*a)]	558	379	78	44	6
MRS	[kg/(ha*a)]	165	52	16	9	3

Selbst wenn man die Einträge in Boden und Grundwasser mit berücksichtigen würde, kann die Anforderung  $< 200 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$  durch die dezentralen Systeme mit  $52 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$  mehr als eingehalten werden.

#### 4.4.6. Vergleich der Abflussspitzen

Den Spitzenabflüssen der 30 jährigen Langzeitsimulation (nur Oberflächenabfluss) wurden mit Hilfe der Plottingformel Wiederkehrzeiten zugeordnet. Der Abfluss aus dem unbebauten Gebiet stimmt ab einer Wiederkehrzeit von ~3 Jahren mit den Abflussspitzen aus dem konventionellen Trennsystem überein (Abb. 18). Die Mulden Rigolen Bewirtschaftungsvarianten führen zu deutlich geringeren Spitzenabflüssen. Bei einer vollständigen Versickerung kommt es alle ~19 Jahre zu Abflüssen, die im unbebauten Zustand alle 2-3 Jahre auftreten. Dies verdeutlicht den positiven Einfluss der Mulden-Rigolen-Bewirtschaftung auf Starkniederschlagsabflüsse und damit auf die Hochwasserbildung.

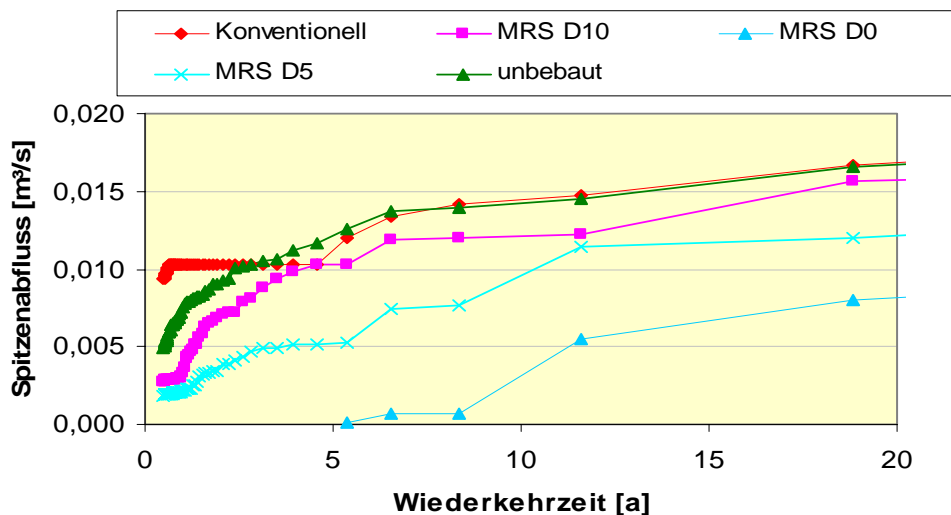


Abb. 18: Wiederkehrzeiten von Spitzenabflüssen im Untersuchungsgebiet Pflost

#### 4.4.7. Ökonomische Variantenanalyse

Die methodische Vorgehensweise der ökonomischen Untersuchung ist am Beispiel des Neubaugebietes Kupferzell ausführlich dargestellt worden. Es konnte gezeigt werden, dass die multidimensionalen und die monetären Ergebnisse der Untersuchung ihre Zusammenführung im Nutzwert-Wirtschaftlichkeitsdiagramm erfahren. Das Nutzwert-Wirtschaftlichkeitsdiagramm stellt mit den in ihm enthaltenen Scoring-Werten, sowie den graphischen Darstellungen der unterschiedlichen Alternativen die Essenz der Untersuchungsergebnisse des jeweiligen Neubaugebietes dar. Aus diesem Grund und aus Gründen der Übersichtlichkeit wird bei der Darstellung der weiteren Gebiete auf die Illustration der Zwischenstufen verzichtet und zur Darstellung der multidimensi-

onalenen und der monetären Zielerfüllung direkt auf das Nutzwert-Wirtschaftlichkeitsdiagramm verwiesen.

Die unter 4.4.2. genau dargestellten Varianten wurden mit dem GRIP-Verfahren analog zur der am Beispiel des Neubaugebietes Kupferzell dargestellten Methodik analysiert und bewertet.

Aus Sicht der monetären Zielerfüllung fällt bei dem Neubaugebiet Pflost besonders die finanzielle Vorteilhaftigkeit des Verfahrens auf, das auf die Mulden-Rigolen-Elemente als Technik zur Erfüllung der Bewässerungsplanung zurückgreift. Dieser monetäre Vorteil ergibt sich insbesondere daraus, dass bei der Variante der unvernetzten Mulden-Rigolen-Elementen, die hier anwendbar ist, auf das Ableitungssystem für gedroselte Abflüsse verzichtet werden kann. Auf diese Weise kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt ein Einsparpotenzial von ca. 50% der Investitionskosten realisiert werden, wie in dem in Abb. 19 dargestellten Nutzwert-Wirtschaftlichkeitsdiagramm zu sehen ist. Da aber ein Kanalsystem, das nicht implementiert, auch in Zukunft keinerlei Kosten verursachen kann, (weder Betriebs- noch Sanierungskosten) wird die Variante der Entwässerung durch Mulden-Rigolen-Elemente auch zukünftig die Variante sein, die von den drei betrachteten Verfahren die geringsten Kosten verursacht.

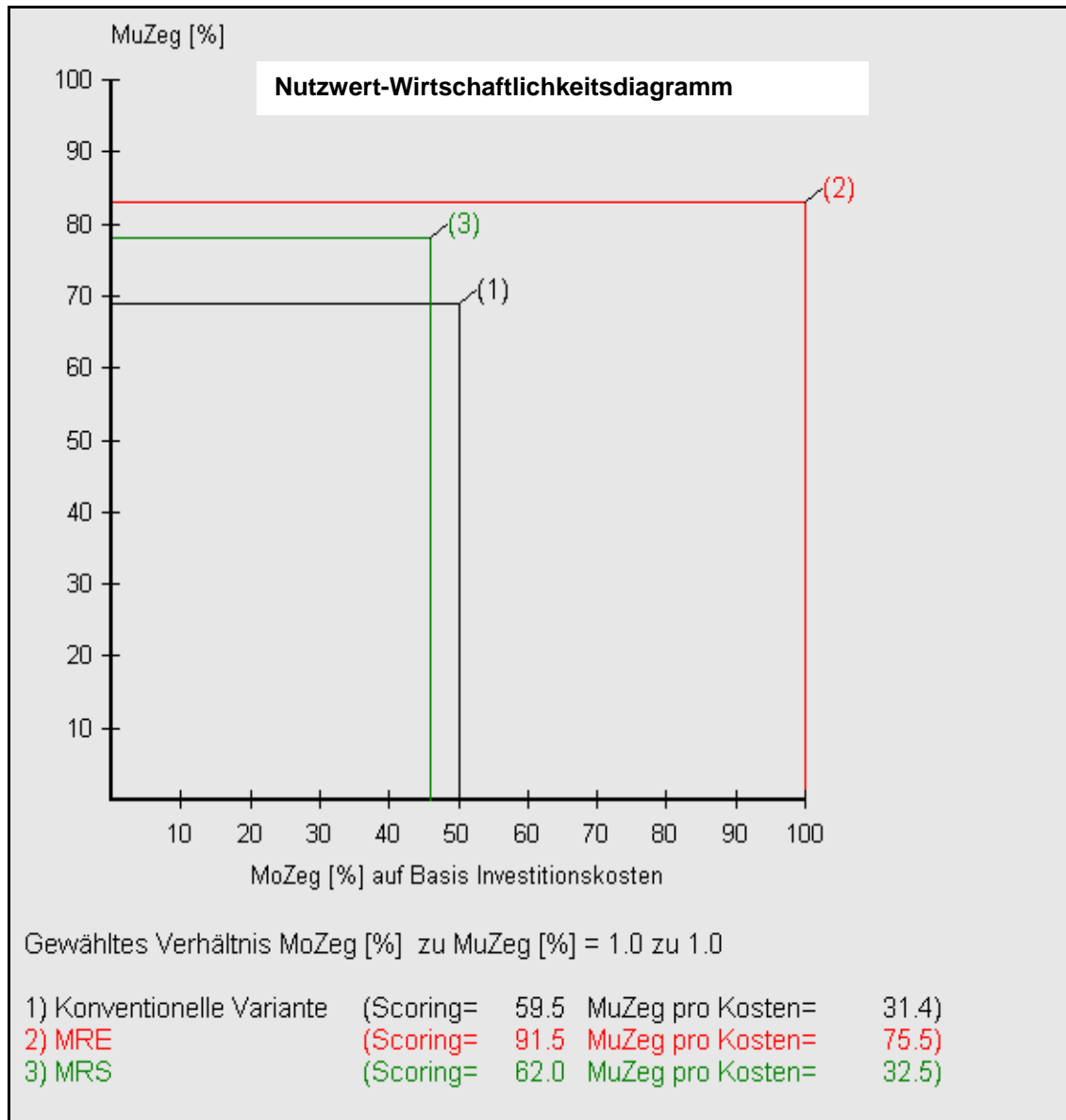


Abb. 19: Nutzwert-Wirtschaftlichkeitsdiagramm des Neubaugebietes Pflost.

Des Weiteren zeigt das Nutzwert-Wirtschaftlichkeitsdiagramm für das Verfahren der Mulden-Rigolen-Elemente den höchsten Grad der multidimensionalen Zielerfüllung an. Das Verfahren der konventionellen Entwässerung zeigt, was die monetäre Zielerfüllung angeht, etwas vorteilhafter, als dies bei dem Mulden-Rigolen-System der Fall ist. Da die multidimensionale Zielerfüllung jedoch deutlich höher ausfällt, sollte diese Variante im Zweifelsfall dem konventionellen System vorgezogen werden.

Als Fazit aus Sicht des Systemmanagement lässt sich resümieren, dass für die Entwässerung des Neubaugebietes Pflost die dezentrale unverbundene Variante verwendet werden sollte. Die Untersuchung der drei unterschiedlichen Verfahren mittels GRIP hat

nicht nur finanzielle Vorteile ergeben, sondern stellt auch den höchsten gesamtgesellschaftlichen Nutzwert aller drei Varianten dar, wie er von dem Grad der multidimensionalen Zielerfüllung widergespiegelt wird.

#### **4.5. Gewerbegebiet Flughafen Münster/Osnabrück**

##### **4.5.1. Untersuchungsgebiet/ Problemstellung**

Im Süden des Flughafens Münster/Osnabrück soll ein Gewerbe- und Dienstleistungspark gebaut werden. Es handelt sich dabei um ein Gebiet von 265 ha, von dem 197 ha versiegelt werden sollen (74%). Geprüft werden muss, wie das anfallende Niederschlagswasser bewirtschaftet oder entsorgt werden kann. Im Untersuchungsgebiet befinden sich diverse kleine Wasserläufe, die weder hydraulisch noch stofflich stark belastbar sind. Als weitere Variante ist die Überleitung des Niederschlagswassers zur Ems möglich. Das Gebiet soll im Trennsystem entwässert werden. Gemäß den Vorgaben des Landes NRW ist eine Vorbehandlung des Niederschlagswassers durch ein Regenklärbecken und einen Retentionsbodenfilter notwendig (außer für Einleitung in die Ems). Aufgrund des geringen Geländegefälles muss das Wasser durch Pumpwerke angehoben werden, um dann im Freigefälleabfluss fließen zu können.

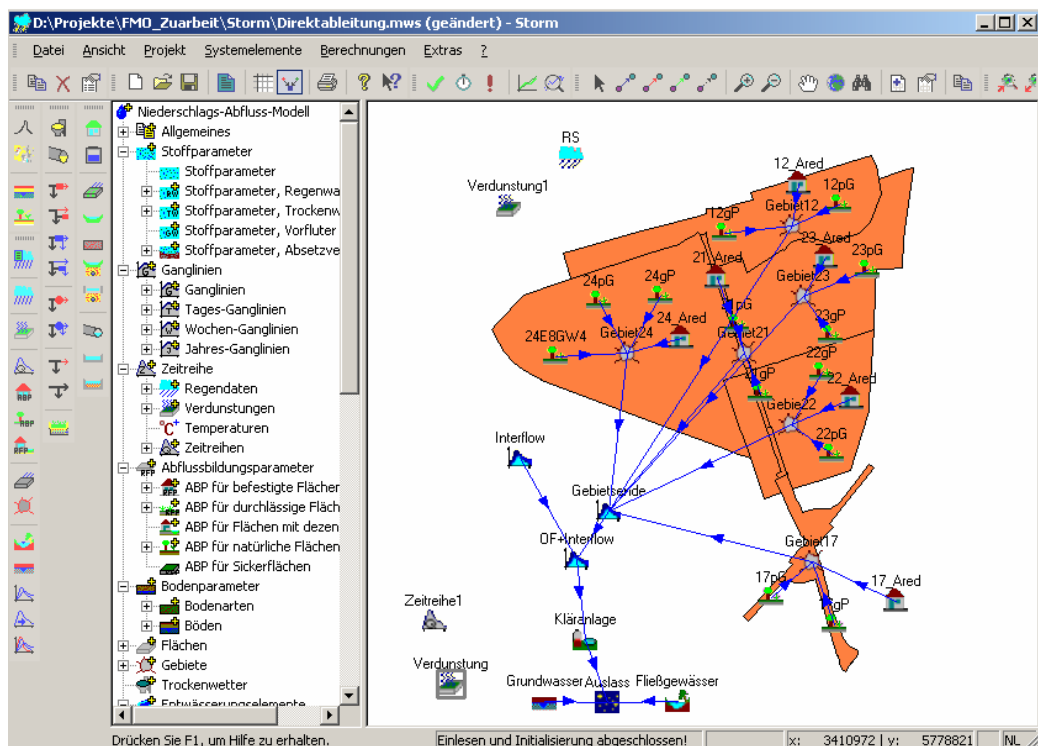


Abb. 20: Abbildung des geplanten Gewerbegebiet FMO im Modell STORM [IPS]

#### 4.5.2. Varianten

Für die Untersuchung verschiedener Varianten konnte auf Ergebnisse eines Planungsbüros zurückgegriffen werden. So wurden der hydraulische Nachweis nach BWK M3 (1999) geführt, womit sich eine zulässige Einleitung von  $7,5 \text{ l/(s*ha)}$  für die Einleitung in den Eltingmühlenbach ergab und für eine Überleitung in die Ems  $100 \text{ l/(s*ha)}$ .

Es wurden 6 Untersuchungsvarianten betrachtet, die jeweils den Ergebnissen für den unbebauten Zustand gegenübergestellt wurden. Variante 1 betrachtet die Direktableitung des anfallenden Wassers ohne Zwischenspeicherung. Bei Variante 2 wird das Niederschlagswasser über ein Regenklärbecken, einen Bodenfilter und ein Regenrückhaltebecken gedrosselt auf  $7,5 \text{ l/(s*ha)}$  in den Eltingmühlenbach eingeleitet. Variante 3 entspricht Variante 2, nur wird ein deutlich geringerer Drosselabfluss von  $0,86 \text{ l/(s*ha)}$  zugelassen. Dieser entspricht in etwa dem natürlichen Oberflächenabfluss, der auch ohne Bebauung in die Gewässer gelangt. Variante 4 untersucht eine dezentrale Bewirtschaftung durch Mulden-Rigolen-Systeme mit einem Drosselabfluss von  $7,5 \text{ l/(s*ha)}$ . In Variante 5 wird eine dezentrale Lösung mit Mulden-Rigolen-Elementen (ohne Drosselabfluss) betrachtet. Variante 6 untersucht die Möglichkeit der Muldenversi-

ckerung, ebenfalls ohne Abfluss. Alle Varianten (ausgenommen die Direktableitung) wurden auf eine Überstauhäufigkeit von 0,2 bemessen.

### 4.5.3. Wasserbilanz

Auf den fein- bis mittelsandigen Böden fließen im unbebauten Zustand nur knapp 4% oberflächlich ab, 45% des Niederschlags versickern und 51% verdunsten. Bei einer Direktableitung erhöht sich der Abfluss auf 52%, die Versickerung verringert sich auf 11%, die Verdunstung auf 37%. Auch die beiden anderen konventionellen Lösungen führen zu ähnlichen drastischen Änderungen bezüglich der Wasserbilanz (Abb. 21). Dagegen kommt bei einer dezentralen Bewirtschaftung des Niederschlagswassers bereits bei einer Drosselung auf 7,5 l/(s\*ha) sogar noch etwas weniger Niederschlagswasser zum Abfluss als im unbebauten Zustand.

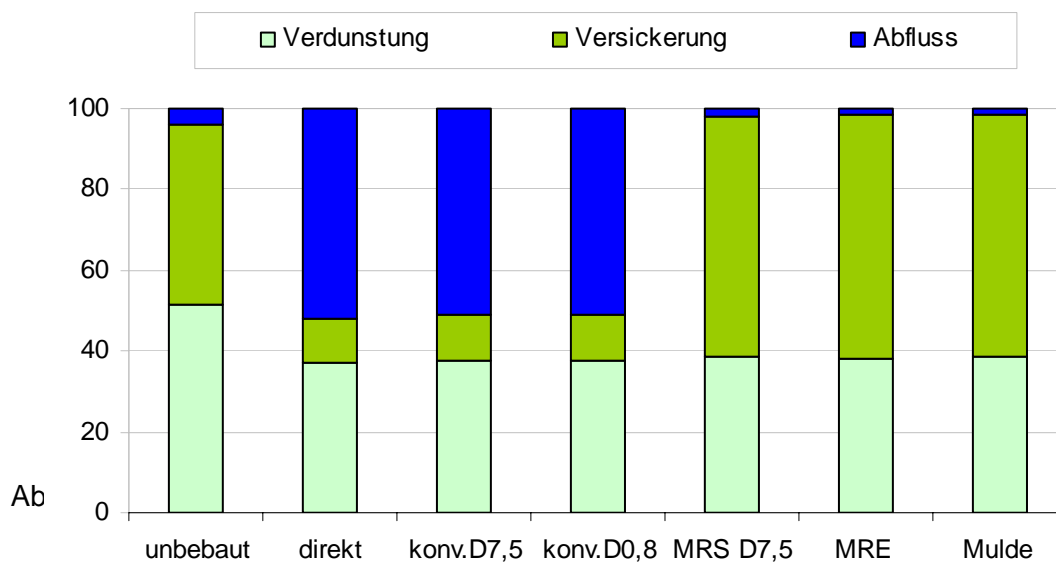


Abb.21: Wasserbilanzen der verschiedenen Untersuchungsvarianten



#### 4.5.4. Stoffliche Gewässerbelastung

Da kein detaillierter Bebauungsplan vorlag, konnte keine Unterscheidung bezüglich Stoffkonzentrationen von Strassen und Dachflächen vorgenommen werden. Es wurde mit mittleren Konzentrationswerten (Tab. 14) gerechnet.

Tab. 14: Angenommene Schmutzkonzentrationen im Regenwasser, sowie Reinigungsleistung bei Bodenpassage (Durchsickerung von Bodenfilter oder Mulden)

	CSB	AFS	NH <sub>4</sub> -N	BSB	P
Versiegelte Fläche[mg/l]	125	100	17,5	10	1,5
unbebaute Fläche [mg/l]	15	50	5	5	1
Bodenpassage Reinigungsleistung[%]	70	90	80	80	50

Die Reinigungswirkung durch die Bodenpassage verringert die eingetragenen Stofffrachten deutlich gegenüber der Vergleichsvariante Direkteinleitung (Tab. 15). Für abfiltrierbare Stoffe beispielsweise wird der Frachteintrag gegenüber den konventionellen Lösungen um fast 80% reduziert (Abb. 22). Die dezentralen Varianten führen aufgrund des geringeren Oberflächenabfluss noch zu deutlich geringeren Frachten (z.B. AFS 97% Reduzierung gegenüber der konventionellen Direkteinleitung).

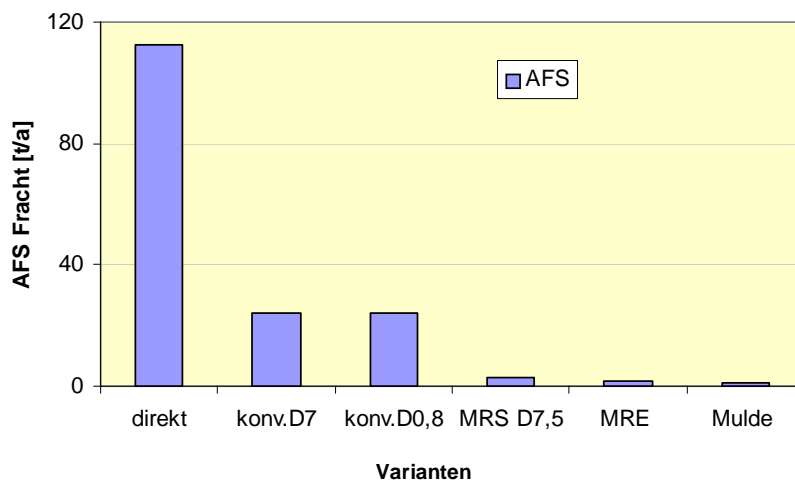


Abb. 22: Mit dem Oberflächenabfluss in die Gewässer eingetragene AFS-Fracht

Tab. 15: Stoffeintrag in die Gewässer

	direkt	konv.D7	konv.D0,8	MRS D7,5	MRE	Mulde
	[kg/(ha*a)]	[kg/(ha*a)]	[kg/(ha*a)]	[kg/(ha*a)]	[kg/(ha*a)]	[kg/(ha*a)]
CSB	528	203	203	12	4,2	3,5
AFS	425	92	92	11	5,9	5,4
NH4-N	74	22	22	1,7	0,8	0,7
BSB	43	13	42	2,8	0,6	0,5
P	6	3,6	3,6	0,2	0,1	0,1

Für eine Direktableitung würde sich damit ein spezifischer Eintrag für AFS von 425 kg/(ha\*a) ergeben, für die konventionellen Lösungen mit Bodenfilter ein Wert von 92 kg/(ha\*a) und für die dezentralen Lösungen zwischen 6 und 11 kg/(ha\*a).

Auch wenn man für die dezentralen Lösungen die gesamte Stoffbilanz betrachtet (einschließlich der in Boden und Grundwasser eingeleiteten Frachten), führt dies zu geringeren Frachten als bei den konventionellen Lösungen mit dem Bodenfilter erreicht werden (Tab. 16). Dies ist dadurch zu begründen, dass die über den Bodenfilter geleitete Wassermenge etwas geringer ist als die über die Mulden gereinigte Wassermenge. Die geforderten 200 kg/(ha\*a) könnten somit auch für die Gesamtfracht durch alle dezentralen Lösungen eingehalten werden (46 –51 kg/(ha\*a)).

Tab. 16: Stoffeintrag in Grundwasser und Boden sowie gesamte Stofffrachten

Eintrag in	MRS D7,5	MRE	Mulde	Gesamt	MRS D7,5	MRE	Mulde
GW/Boden	[kg/(ha*a)]	[kg/(ha*a)]	[kg/(ha*a)]	fracht		[kg/(ha*a)]	[kg/(ha*a)]
CSB	151,5	152,5	157,1	CSB	163	156,6	160,6
AFS	40,4	40,7	41,9	AFS	51,1	46,6	47,3
NH4-N	14,1	14,2	14,7	NH4-N	15,9	15	15,3
BSB	8,1	8,1	8,4	BSB	9,2	8,7	8,9
P	3	3	3,1	P	3,2	3,2	3,2

#### 4.5.5. Vergleich der Abflussspitzen

Bei der Auswertung der auftretenden Spitzenabflüsse zeigt sich, dass eine Direkteinleitung die Abflusssituation für das Untersuchungsgebiet deutlich verschärfen würde (Abb. 23). Die Varianten mit Drosselabflüssen 7,5 l/(s\*ha), 0,86 l/(s\*ha) und Null führen dagegen aufgrund der vorgehaltenen Speichervolumina sogar teilweise zu geringeren Abflüssen als im unbebauten Zustand.

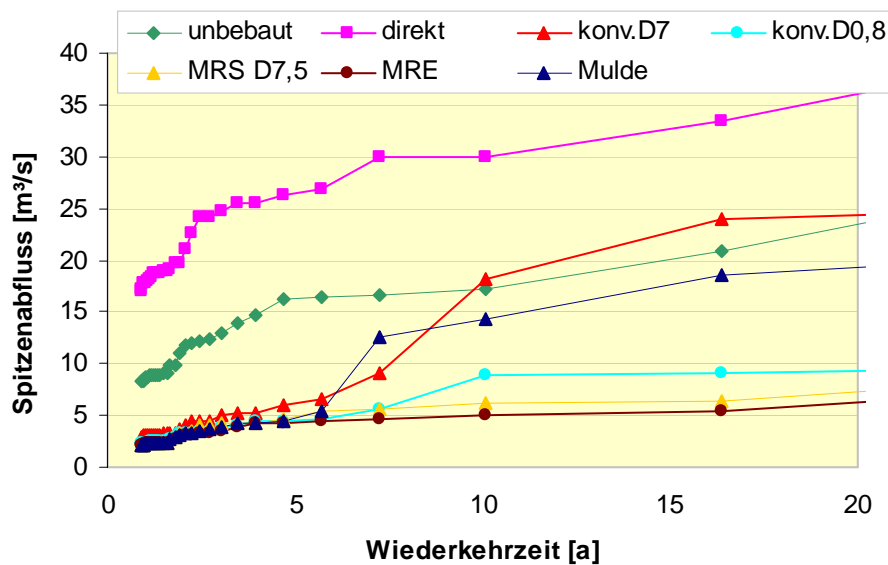


Abb. 23: Wiederkehrzeiten von Spitzenabflüssen

#### 4.5.6. Ökonomische Variantenanalyse

Für das Neubaugebiet Flughafen Münster/Osnabrück wurden von den unter 4.5.2. dargestellten Varianten folgende ausgewählt und für die ökonomische Analyse näher untersucht:

Die konventionelle Ableitung des Regenwassers über Regenklärbecken, Bodenfilter und Regenrückhaltebecken mit einer gedrosselten Ableitung des Niederschlagswassers (gedrosselt auf  $7,5 \text{ l/(s*ha)}$ ) in den Eltingmühlenbach.

Die Bewirtschaftung des Regenwassers durch ein Mulden-Rigolen-System mit einem Drosselabfluss von  $7,5 \text{ l/(s*ha)}$ . Die Bewirtschaftung des Niederschlagswassers durch Mulden-Rigolen Elemente, eine rein dezentrale Lösung ohne Drosselabfluss. Die Untersuchung der monetären Zielerfüllung zeigt, dass die konventionelle Variante sich am teuersten von den drei Varianten darstellt. Die Investitionskosten für das gesamte Neubaugebiet belaufen sich dabei auf ca. 85 Millionen Euro. Dies ist in erster Linie auf die Implementierung der Becken (Regenklärbecken/Regenrückhaltebecken) sowie der Bodenfilter zurückzuführen. Die Kosten für die Bewirtschaftung des Niederschlagswassers durch das Mulden-Rigolen-System mit gedrosseltem Abfluss belaufen sich auf ca. 60 Millionen Euro. Die rein dezentrale Lösung, die Entwässerung des Gebietes durch Mulden-Rigolen-Elemente ist mit ca. 50 Millionen die preiswerteste von den betrachteten Alternativen. Das ist darauf zurückzuführen, dass dieses rein dezentrale Verfahren

kein Kanalsystem zur Ableitung benötigt. Gegen diese Lösung spricht allerdings die hohe Grundwasserstand des Gebietes.

Auch bei der multidimensionalen Zielerfüllung zeigt sich das Verfahren, das auf die Entwässerung durch Mulden-Rigolen-Elemente setzt, vorteilhafter als die beiden anderen Alternativen. Wie in dem dargestellten Nutzwert-Wirtschaftlichkeitsdiagramm deutlich zu sehen ist (Abb. 24), hebt sie sich mit einem MuZeg von 85% deutlich von der konventionellen Variante mit 68% und dem Mulden-Rigolen-System das auf einen Prozentsatz von 75 kommt ab.

Es lässt sich folgendes Fazit ziehen: Aus Sicht des Systemmanagement zeigt sich das MRE-Verfahren finanziell am vorteilhaftesten und weist den größten Nutzwert auf. Das MRS ist aufgrund des benötigten Kanalnetzes kostenintensiver als die MRE, im Vergleich zum konventionellen System zeigt es aber niedrigere Kosten und einen höheren Nutzen. Die konventionelle Lösung ist aufgrund der benötigten Becken das System, das sich am teuersten darstellt. Gleichzeitig bietet es gesamtgesellschaftlich den niedrigsten Nutzen.

Die Berücksichtigung des hohen Grundwasserstandes führt jedoch letztlich auf MRS als vorgeschlagene Ausführungsvariante.

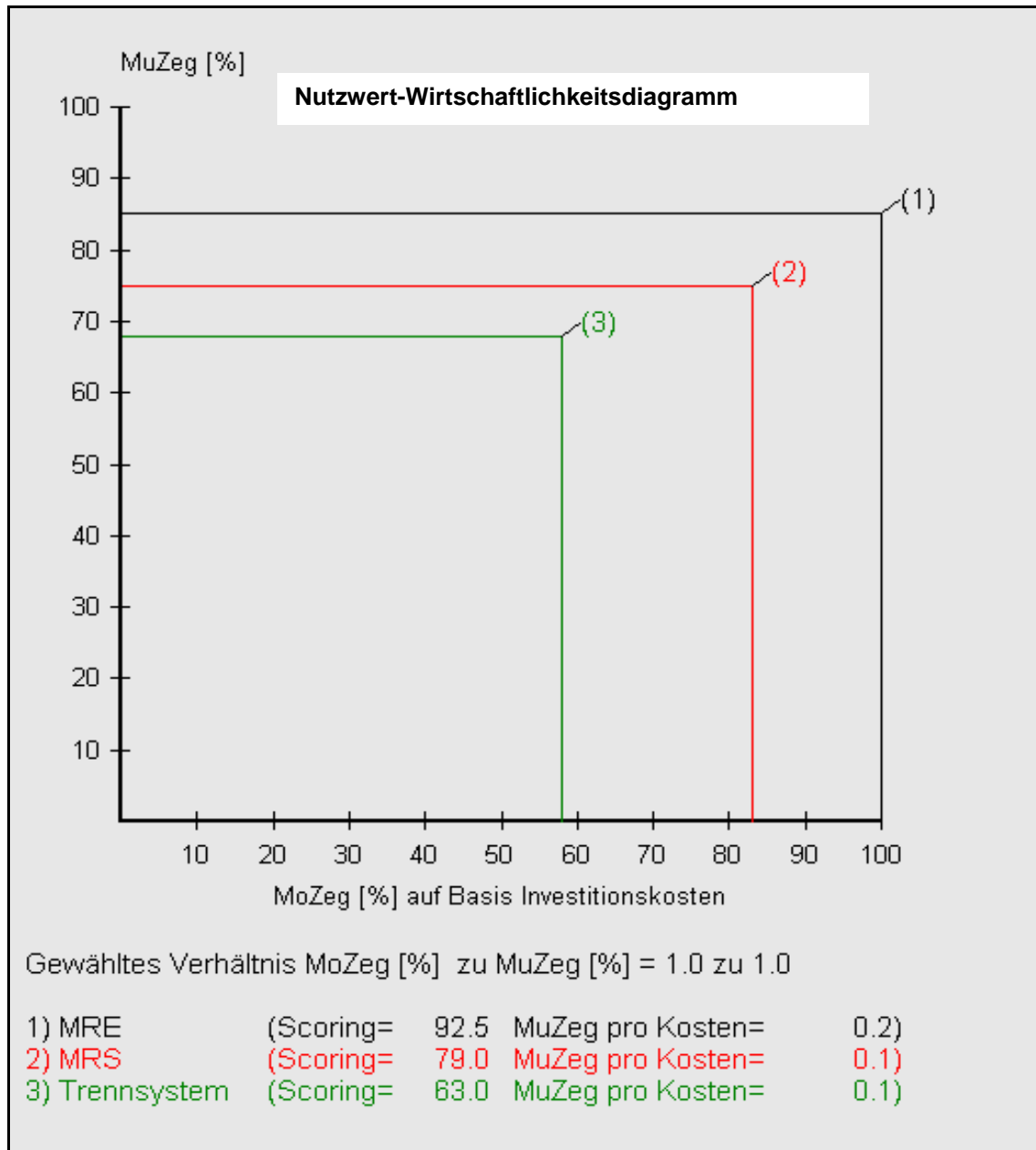


Abb. 24: Nutzwert-Wirtschaftlichkeitsdiagramm Münster/Osnabrück

#### 4.6. Beispiel Gewerbegebiet Dahlwitz- Hoppegarten

Bei dem Gebiet Dahlwitz- Hoppegarten (am östlichen Stadtrand von Berlin) handelt es sich um die Erweiterung eine Gewerbegebietes (120 ha). Eine zulässige Genehmigung für die Einleitung von 400 l/s in den Wernergraben wurde durch das bereits vorhandene Gewerbegebiet (40 ha) zu einem Großteil, nämlich mit 315 l/s, ausgeschöpft. Damit waren entweder riesige Rückhaltevolumina vorzusehen oder eine dezentrale Lösung

musste umgesetzt werden. Innerhalb des UBA Projektes „Regen(ab)wasserbehandlung und -bewirtschaftung unter Berücksichtigung der Anforderungen nach § 7a WHG und einer möglichst ortsnahe Versickerung“ [Sieker et al. 2004] wird das Gebiet, sowie umfangreiche Untersuchungen bezüglich des Wasserhaushalts dargestellt.

## **4.7. Beispiel Halle**

### **4.7.1. Untersuchungsgebiet/ Varianten**

Am östlichen Rand der Stadt Halle ist ein Industriegebiet geplant, welches eine Gesamtfläche von ca. 183 ha umfasst. 79 ha sind für eine Bebauung vorgesehen. Das entspricht einem Versiegelungsgrad von 43%. Als Vorfluter für die Einleitung der Niederschlagswässer kann der Dölbauer Graben genutzt werden, wobei von der Wasserbehörde eine maximale Einleitmenge von 89 l/s (1,13 l/(s\*ha)) zugelassen wird. Der Boden im Untersuchungsgebiet ist sehr inhomogen, der mittlere Durchlässigkeitsbeiwert liegt bei  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s.

Untersucht wurde eine konventionelle Lösung mit Ableitung der Niederschlagswässer und Berücksichtigung von Rückhaltebecken. Als dezentrale Lösung wurde ein vernetztes Mulden- Rigolen-System geplant, womit dem inhomogenen Untergrund Rechnung getragen wurde und durch das Ableitungssystem (für gedrosselte Abflüsse) die Entwässerungssicherheit gewährleistet wird. Für beide Varianten wurde als Drosselabfluss die maximal zulässige Einleitmenge verwendet.

### **4.7.2. Problemstellung**

Die bisherigen Ergebnisse der ökonomischen Analyse zeigen deutlich auf, dass die dezentralen Verfahren der Entwässerung, besonders die Verfahren der hydraulisch vollständigen Abkopplung (unvernetzte Mulden-Rigolen-Elemente) nicht nur in Bezug auf die multidimensionale, sondern auch auf die monetäre Zielerfüllung, vorteilhafter sein können als die Verfahren der konventionellen Ableitung. Aus diesem Grund stellt sich die Frage, worin die Ursache begründet liegt, dass die gegenwärtige Entwässerungsplanung sich nicht vermehrt dezentraler Lösungsvarianten bedient. Ein Grund ist in der gegenwärtigen Förderpraxis zu sehen, was im Abschnitt 4.7.4. verdeutlicht wird.

### **4.7.3. Ökologische Vergleichsbetrachtung**

Für umfangreiche Berechnungen war das vorhandene Datenmaterial nicht ausreichend. Ausgewertet werden konnten jedoch Ergebnisse zur Wasserbilanz. Dabei zeigte sich, dass trotz der relativ geringen Durchlässigkeiten langfristig gesehen erhebliche Versickerungsanteile erzielt werden können (40-60% der Niederschläge). Während kurzer Starkregenereignisse kann dieser Anteil niedriger liegen. Bei lang anhaltenden Regen mit geringer Intensität kann der Anteil dagegen auf 100% ansteigen. Bei der konventionellen Variante findet dagegen keine Versickerung statt. Die Niederschläge werden aus dem Gebiet abgeleitet und dem natürlichen Wasserhaushalt entzogen.

Hinsichtlich stofflicher Aspekte, bei der Einleitung der Niederschlagswässer in das Gewässer, führt die dezentrale Lösung ebenfalls zu besseren Ergebnissen. Während durch die Bodenpassage im Mulden- Rigolen- System eine weitgehende Reinigung der Niederschlagswässer erfolgt, würde im Trennsystem das Niederschlagswasser ohne Reinigung (ev. geringe Absetzleistung im Rückhaltebecken) in den Dölbauer Graben geleitet.

### **4.7.4. Ökonomische Variantenanalyse**

Die dezentrale Variante führt zu 1.431.900 Euro geringeren Kosten als die konventionelle Variante (Tab. 17). Die gegenwärtige Förderpraxis subventioniert öffentliche Maßnahmen, wenn die Finanzierung zu Beginn der Erschließung erfolgt. So kann sich die Auswahl der dezentralen Variante, die insgesamt niedrigere Gesamtkosten aufweist, für eine Gemeinde insgesamt betriebswirtschaftlich als unvorteilhafter darstellen. Analog zu der Homogenität als Kennzahl bei der multidimensionalen Zielerfüllung, wird es offensichtlich, dass es auch bei der monetären Zielerfüllung von Vorteil wäre, mehr Informationen über die Beschaffenheit der Kosten zu erhalten.

Tab. 17: Kostenaufteilung des Neubau-Industriegebietes Halle Ost

Variante	konventionell	dezentral
Gesamtkosten <sup>7</sup>	13.478.900	12.047.000
davon öffentlich	11.086.100	3.007.600
davon privat	2.392.800	9.039.600
60% GA-Mittel auf öffentlichen Anteil	6.651.700	1.804.600
40% Eigenanteil auf öffentlichen Anteil	4.434.400	1.203.000

Im nachfolgend dargestellten Nutzwert-Wirtschaftlichkeitsdiagramm (Abb. 25) wird zwar die finanzielle Vorteilhaftigkeit der dezentralen Variante deutlich, der finanzielle Vorteil, den eine Gemeinde bei der Implementierung des konventionellen Systems realisieren kann und der auf die Struktur des ordnungspolitischen Rahmens zurückzuführen ist, wird in dem Diagramm nicht ersichtlich.

Es zeigt sich, dass die gegenwärtigen Förderstrategien den Prinzipien des Systemmanagements widersprechen. Das Beispiel des Industriegebietes Halle-Ost macht deutlich, dass der ordnungspolitische Rahmen eine durch Wettbewerbseffekte frei wirkende Selbstorganisation des Systems verhindert. Das sich einstellende Gleichgewicht von Angebot und Nachfrage ist daher verzerrt und spiegelt nicht die tatsächlichen Preis-Güter-Relationen wider.

<sup>7</sup> Alle Kosten sind in Euro angegeben.



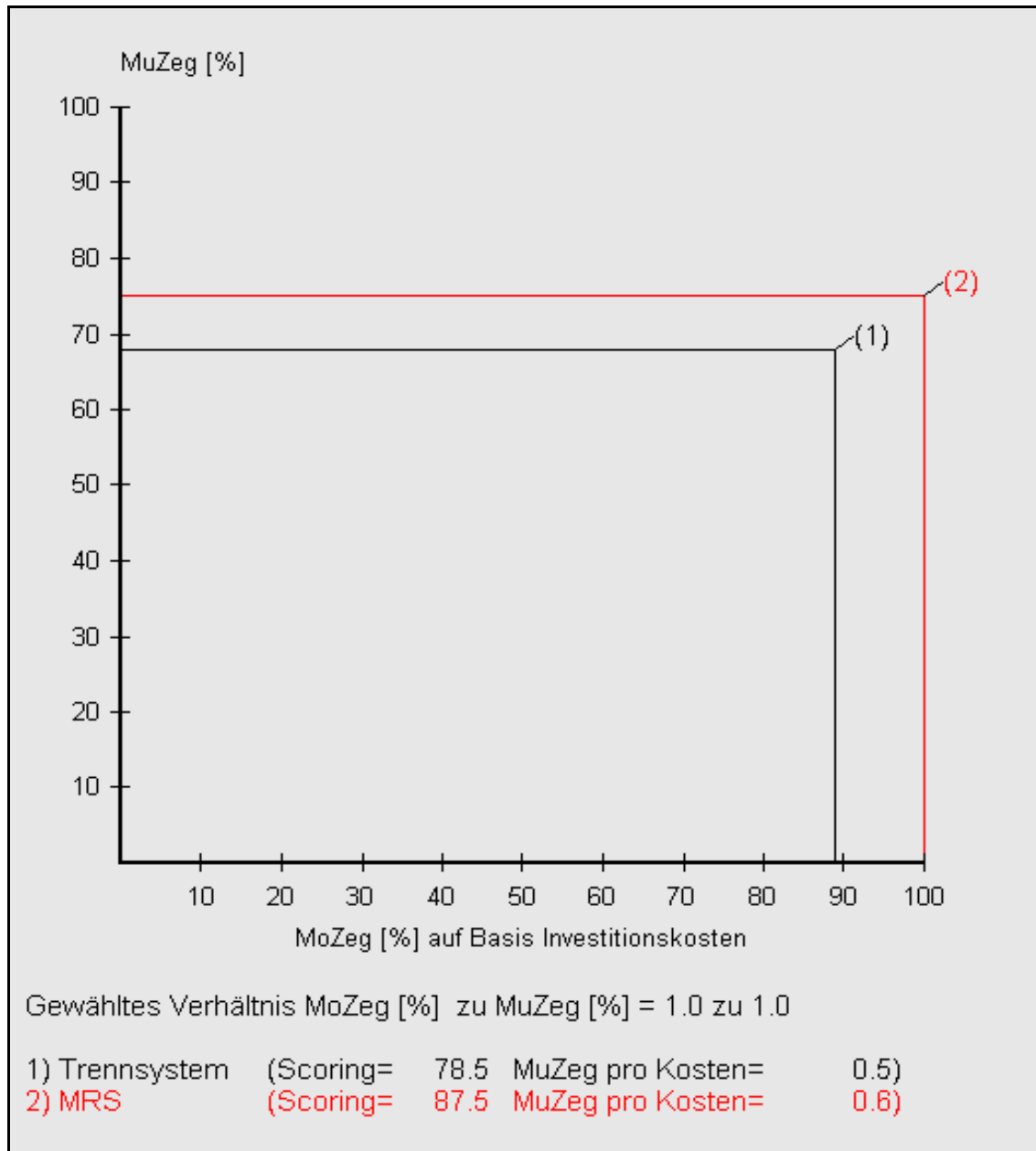


Abb. 25: Nutzwert-Wirtschaftlichkeitsdiagramm des Neubaugebietes Halle-Ost

#### **4.8. Schlussfolgerung für Neubau- und Erweiterungsgebiete**

An den untersuchten Beispielen konnte gezeigt werden, dass trotz variierender Randbedingungen die Erhöhung des mittleren jährlichen Oberflächenabflusses durch die Bebauung auf höchstens 10 Prozentpunkte des Niederschlages begrenzt ist. Die anfallenden Niederschlagswässer müssen dazu jedoch zum Teil im Gebiet zurückgehalten werden. Dies ist nur mit Hilfe von dezentralen oder semidezentralen Anlagen mit Versickerungskomponente möglich (Gründächer und Regenwassernutzung wurden in der Studie nicht näher untersucht). Konventionelle Trennsysteme führen zu drastischen Veränderungen der Wasserbilanz eines unbebauten Gebietes. Auch die Stoffeinträge aus der Trennkanalisation sind gegenüber dezentralen Lösungen deutlich höher. Ursache hierfür sind sowohl die fehlende Reinigung als auch der größere Volumenstrom.

Sofern eine vollständige Versickerung der Niederschlagswässer aufgrund der örtlichen Gegebenheiten nicht möglich ist, liegen die Kosten für vernetzte Mulden-Rigolen-Systeme und Trennsysteme häufig in der gleichen Größenordnung. Mulden-Rigolen-Elemente erweisen sich durch das fehlende Ableitungssystem als deutlich günstiger. Sobald jedoch erhöhte stoffliche Anforderungen an den Einleitungsabfluss gestellt werden, müssen in konventionellen Trennsystemen teure Bodenfilterbecken gebaut werden, wodurch die dezentralen Mulden Rigolen-Systeme preislich günstiger werden.

Betrachtet man die Niederschlagsentwässerung von Neubaugebieten aus gesamtgesellschaftlicher Sicht, werden weitere Vorteile einer dezentralen Bewirtschaftung deutlich. Aufgrund ihrer Merkmalsausprägungen sind dezentrale Systeme anpassungsfähiger, fehlertoleranter und flexibler gegenüber sich verändernden Rahmenparametern. Sie können z.B. mit dem Bebauungsgebiet mitwachsen. Sollte nur ein Teil der Planung umgesetzt werden, bedeutet dies nicht, dass wie bei einem konventionellen Trennsystem Rohrnetz und Anlagen brach liegen würden. Investitionen können dann getätigt werden, wenn die Anlagen tatsächlich benötigt werden.

Weitere Praxisbeispiele für Neubaugebiete und deren ökologischer und ökonomischer Vergleich findet sich in Sieker et al. 2006.

## 5. Bestandsgebiete

### 5.1. Besonderheiten von Bestandsgebieten

Bestandsgebiete sind in der Regel durch das Konzept der konventionellen Regenwasserentsorgung erschlossen (Mischsystem oder Trennsystem). Aus wirtschaftlichen und technischen Gründen ist eine generelle Umstellung auf eine dezentrale Bewirtschaftung meist nicht sinnvoll. Kann die Entwässerungssicherheit nicht mehr gewährleistet werden (Kanalnetzüberlastung) oder steigen die Forderungen an Gewässereinleitungen (quantitative oder qualitative Überschreitung zulässiger Einleitungen aus Misch- oder Trennkanalisation), wird eine Sanierung des Kanalnetzes notwendig. Möglich ist ein konventioneller Ausbau des Systems durch Anpassen der Rohrquerschnitte und Bau von Rückhalte- und Reinigungsbecken, oder man reduziert und dämpft die Regenabflüsse durch eine partielle Anwendung des Konzeptes der dezentralen Bewirtschaftung. Danach passt man die Abflüsse der Leistungsfähigkeit des vorhandenen Systems an. Bei der Sanierung alter Leitungsnetze ermöglicht eine dezentrale Bewirtschaftung eines Teils der vorhandenen Abflüsse beispielsweise den Einsatz von Inliningverfahren, wogegen bei einer konventionellen Sanierung ein kostenintensiverer Leitungersatz notwendig würde. Sofern ein Bestandsgebiet im Mischsystem entwässert wird, muss zusätzlich zu den Regenüberläufen die Abлаuffracht aus der Kläranlage in die Gesamtbetrachtung eingeschlossen werden, um eine Verlagerung der Stoffeinträge/ Gewässerbelastung zu vermeiden.

Der Anwendungsfall „Hydraulisch unvollständige Abkopplung im Bestandsgebiet“ wurde bereits im ersten Teil des Gesamtprojektes bearbeitet [Sieker, F., et al. 2004]. Die Ergebnisse für ein Teilgebiet von Würzburg werden im Folgenden zusammengefasst wiedergegeben. Dabei wurde für die ökonomische Vergleichsbetrachtung mit einer einfachen Nutzwertanalyse gearbeitet, da eine erweiterte Wirtschaftlichkeitsberechnung mit dem Modell GRIP erst im Laufe des zweiten Projektteils durchgeführt werden konnte.

Für ein Bebauungsgebiet wird momentan eine zulässige Entlastungsfracht nach ATV-A 128 ermittelt, für welche ein entsprechendes Becken bemessen wird. Die gleiche Entlastungsfracht würde auch beim Bau eines kleineren Beckens und gleichzeitiger Abkopplung von Flächen eingehalten. Nach ATV A 128 ist es jedoch nicht zulässig, sich

auf die zuvor ermittelte Entlastungsfracht zu beziehen. Statt dessen muss die zulässige Entlastungsfracht für den verringerten, an der Kanalisation hängenden, Flächenanteil neu berechnet werden. Diese Vorgehensweise führt zu einer nicht begründbaren Benachteiligung dezentraler Bewirtschaftungslösungen und zeigt, dass diese noch nicht überall als eigenständige Entwässerungslösungen akzeptiert werden.

## **5.2. Beispiel Würzburg**

### **5.2.1. Untersuchungsgebiet/ Problemstellung/ Istzustand**

Untersucht wurde ein Teilgebiet von Würzburg, das sich westlich des Innenstadtbereiches auf der „links-mainischen“ Seite befindet (Gebiet Zellerau). Das Gebiet umfasst eine Fläche von 90,77 ha, von denen 42,81 ha befestigt sind. Die Entwässerung erfolgt im Istzustand durch ein Mischsystem. Am Ende des stark vermaschten Kanalnetzes befindet sich ein Regenüberlauf, der in das nachfolgende Teilgebiet 55 entwässert und in den Main abschlägt.

Die Untersuchung des Istzustandes mittels einer Langzeitseriensimulation zeigte eine deutliche Überlastung des Kanalnetzes. Neben der Überstauhäufigkeit erfordert der hohe spezifische CSB-Eintrag in das Gewässer ( $450 \text{ kg/ha} \cdot \text{a}$ ) ebenfalls eine Verbesserung der momentanen Situation.

Die Wasserbilanz des Gebietes weicht im Istzustand deutlich von den unter natürlichen Bedingungen auftretenden Werten ab (Abb. 1). Da ein großer Teil des Niederschlages im Istzustand direkt abfließt (34%), kommt es zu einer gegenüber dem natürlichen Zustand deutlich geringeren Versickerung und damit zu einer geringeren Grundwasserneubildung.

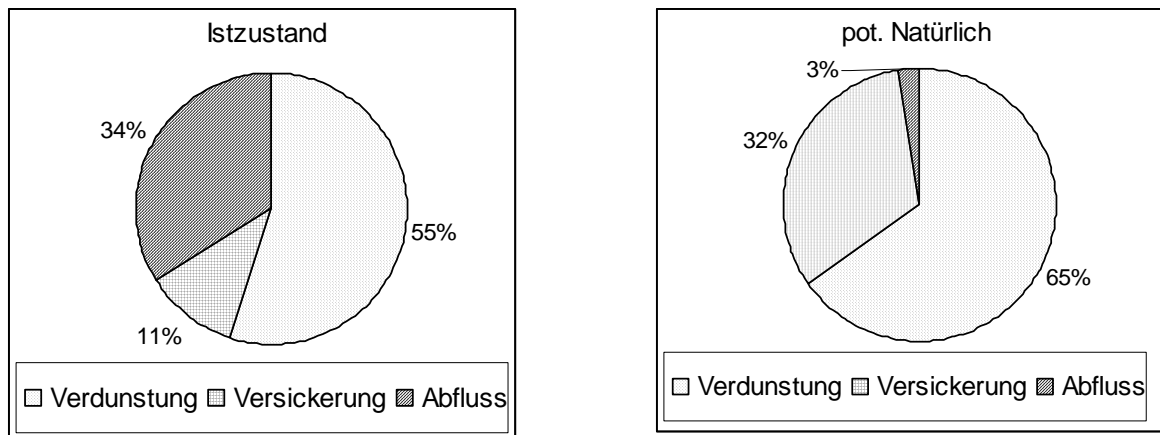


Abb. 26: Wasserbilanz des Gebietes Zellerau in Würzburg im Istzustand und im potentiell natürlichen Zustand

### 5.2.2. Zielgrößen

Um das Kanalnetz entsprechend der heutigen Anforderungen betreiben zu können müssen:

- die in das Gewässer eingeleitete CSB-Frachten verringert werden
- die Überstauhäufigkeit des Kanalnetzes auf  $n=0,33$  beschränkt werden (ATV A118)
- weitergehende Anforderungen erreicht werden:
  - Annäherung der Gebietswasserbilanz an den potentiell natürlichen Zustand
  - maximal 10% Abweichung vom potentiell natürlichen HQ1

Normalerweise bezieht sich der HQ1 auf den Vorfluter Main. Da im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen kein N-A-Modell für den Main erstellt werden konnte, wurde verglichen, wie hoch die einmal jährlich auftretenden Abflüsse aus dem Untersuchungsgebiet im Istzustand und den Sanierungsvarianten gegenüber den Werten sind, die sich ergeben, wenn man für das gesamte Gebiet eine natürliche Fläche annimmt (0% Versiegelung).

### 5.2.3. Varianten

Es wurde eine konventionelle Sanierungsvariante (Stauraumkanal Var. A) und vier Abkopplungsszenarien betrachtet. In der Variante B wurden 15% der versiegelten Fläche als hydraulisch vollständig abgekoppelt angenommen. Um eine identische Schmutzfracht wie bei der konventionellen Sanierung zu erreichen, wurde in Variante C zusätzlich zu den 15% Abkopplung ein Stauraumkanal bemessen. Eine maximale CSB Reduzierung wird in Variante D betrachtet, in der 24% der versiegelten Fläche hydraulisch vollständig abgekoppelt angenommen werden und der für die konventionelle Variante bemessene Stauraumkanal verwendet wird. In Variante E wurde zusätzlich zu 24% Abkopplung ein Stauraumkanal derart optimiert, dass die Entlastungsfrachten denen der konventionellen Sanierung entsprachen. Einen Überblick über die Berechnungsergebnisse zeigt Tab. 18.

Tab. 18: Ergebnisse der verschiedenen Varianten

	CSB Fracht	HQ1	Verdunstung	Versickerung	Abfluss	Kosten
	[kg/ha*a]	[m³/s]	[mm/a]	[mm/a]	[m³/a]	[€]
pot.natürlich	0	1361	316770	155748	12459	
Istzustand	450	2279	267360	53296	164321	
Variante A	183	2271	267360	53296	164321	2270500
Variante B	375	1912	266602	62780	154743	1348217
Variante C	190	1912	266602	62780	154743	1762217
Variante D	113	1655	266041	69149	148299	2985185
Variante E	184	1677	266041	69149	148299	2154185

Alle fünf Sanierungsvarianten verringerten die Überstauhäufigkeit von momentan 0,6 auf die geforderte Häufigkeit von 0,33. Mit dem konventionellen Stauraumkanal konnte die CSB-Fracht um 60% gegenüber dem Istzustand verringert werden. Allein durch eine Flächenabkopplung konnte dieser Wert nicht erreicht werden, sondern lediglich in Kombination mit einem Stauraumkanal, der allerdings kleiner als bei der konventionellen Variante ausfallen kann. Betrachtet man den HQ1 und die Komponenten der Wasserbilanz, so zeigt sich, dass bei konventioneller Sanierung keine Verbesserung erreicht wird. Die beste Annäherung an den natürlichen Zustand sowohl für den Abfluss HQ1 als auch für die Komponenten der Wasserbilanz wurde bei der Abkopplungsrate von 24% mit zusätzlichem Stauraumkanal (Var.D) erreicht.

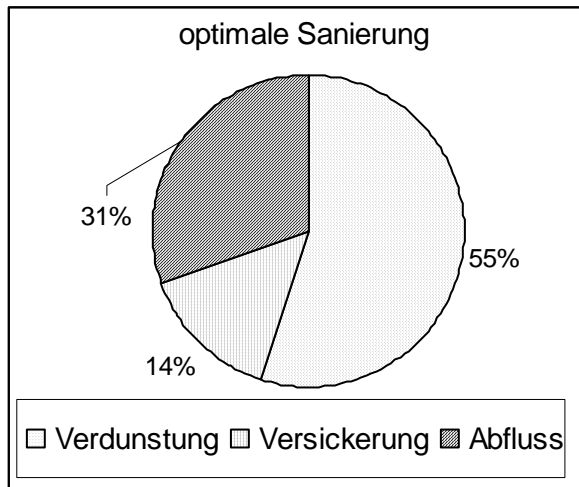


Abb. 27: Günstigstes Ergebnis für die Komponenten des Wasserhaushaltes mit Var.D

Gegenüber dem Istzustand konnte bei dieser Variante der Abfluss um 3% verringert und die Versickerung und damit die Grundwasserneubildung um 3% erhöht werden.

Bei den Kosten ist lediglich die aus Sicht des CSB-Eintrages optimale Lösung (Var.D) teurer als die konventionelle Lösung. Sowohl die Abkopplungsszenarien als auch die Kombinationslösungen mit kleineren Stauraumkanälen erwiesen sich gegenüber der konventionellen Lösung als günstiger.

#### 5.2.4. Ökonomische Variantenanalyse

Die Zielgrößen CSB-Fracht, HQ1, Kosten, Überstauhäufigkeit und Wasserbilanz wurden gleichmäßig mit 20% gewichtet. Die Komponenten der Wasserbilanz wurden dabei gewichtet zu: 6% Verdunstung, 7% Abfluss und 7% Versickerung. Mit den gewählten Nutzenfunktionen ergibt sich für die Variante D und E der höchste Nutzwert von 0,78 (Abb. 28)

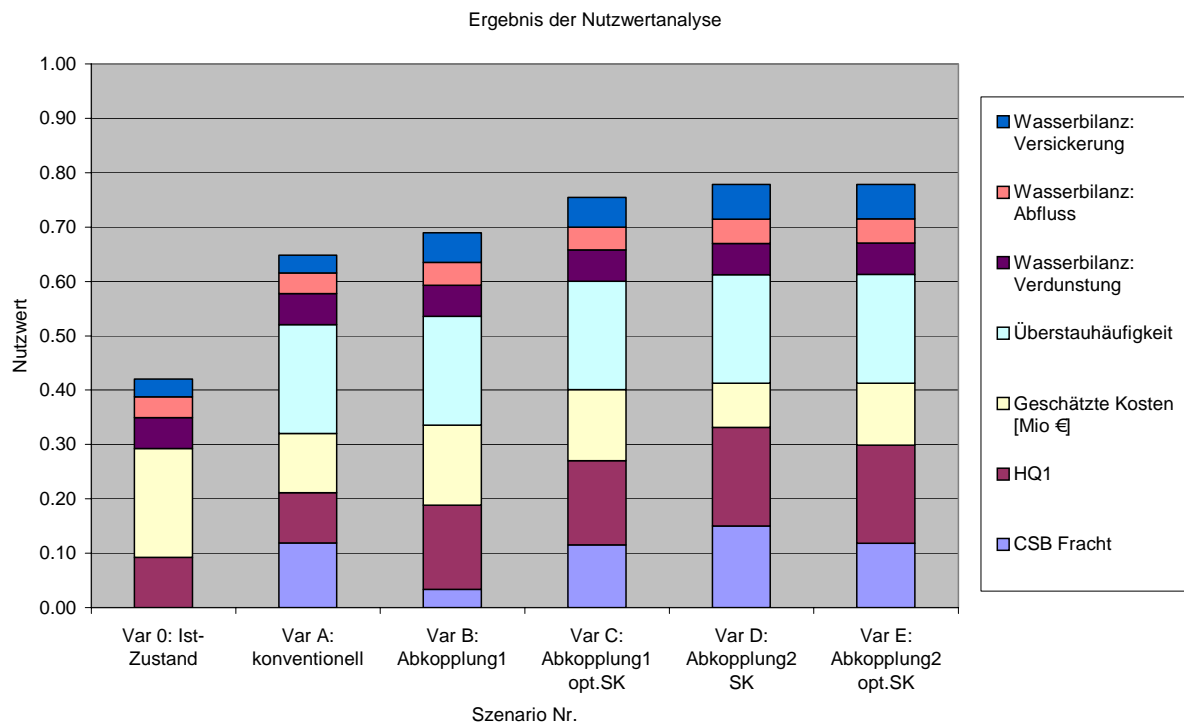


Abb. 28: Nutzwerte der verschiedenen Varianten

Mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse wurde die Robustheit der Ergebnisse bei veränderter Gewichtung jeweils einer Zielgrößen (CSB-Fracht, Kosten und HQ1) geprüft. Ab einer Gewichtung der Kosten von 60% führt der Istzustand zum theoretisch höchsten Nutzwert, was in Bezug auf die Praxis (notwendige Verbesserung des Entwässerungszustandes) jedoch nicht relevant erscheint. Die bezüglich der Stofffracht optimale Variante D führt ab einer Kostengewichtung von 60% zu den geringsten Nutzwerten, gefolgt von der konventionellen Sanierungsvariante.

Die Sensitivitätsanalyse der CSB-Fracht zeigt, dass die Varianten mit optimierten Stauraumkanal den Schmutzparameter CSB in gleicher Höhe wie die konventionelle Sanierung emittieren. Erst bei einem Gewicht von 80% auf die CSB-Fracht werden gleiche Nutzwerte erzielt.

Legt man ein stärkeres Gewicht auf den bettbildenden Abflusses HQ1, führen die Varianten, in denen eine Abkopplung durchgeführt wird, zu deutlich besseren Nutzwerten gegenüber der konventionellen Sanierung.

Bei den durchgeführten Sensibilitätsanalysen konnte die konventionelle Sanierung nie den höchsten Nutzwert erreichen. Es fand sich immer eine bessere Variante.



### **5.3. Beispiel Nettebach**

#### **5.3.1. Untersuchungsgebiet/ Problemstellung**

Der Nettebach ist ein Nebengewässer der Emscher und entwässert Teile der Stadt Dortmund - derzeit noch als ein Teil des Mischsystems. Im Zuge des Umbaus des Emschersystems ist auch für den Nettebach eine Entflechtung vorgesehen, in dem parallel zum zukünftig wieder naturnah gestalteten Gewässer ein neuer Mischwasserkanal errichtet wird. Mit Ausnahme der Mischwasserentlastungen wird der Nettebach damit abwasserfrei.

Derzeit entwässern auch die Ortsteile Niedernetze und Oburnette im Mischsystem in den Nettebach. Die Gliederung des Einzugsgebietes macht es erforderlich, dass für diese Teilgebiete – trotz der relativ geringen Größe von ca. 8 ha  $A_{EK}$  bzw. 3,6 ha  $A_u$  - eine eigene Regenwasserbehandlung erforderlich würde, da die größeren Teilgebiete bereits oberhalb entlastet werden (SKU Erpinghof, SKU Zechengraben).

Im Zuge der Rahmenplanung wurden durch die Emschergenossenschaft zwei grundsätzliche Varianten untersucht.

#### **5.3.2. Varianten**

Als konventionelle Lösung wurde der Bau einer Mischwasserentlastung mit davor geschaltetem Stauraumkanal betrachtet. Eine alternative Lösungsvariante geht dagegen davon aus, dass vorhandene Mischsystem durch eine dezentrale Regenwasserbewirtschaftung (Mulden-Rigolen-Systeme und Versickerungsmulden) zu ersetzen.

#### **5.3.3. Ökologische Vergleichsbetrachtung**

Für das Gebiet Nettebach wurden keine eigenen Berechnungen (außer Kosten) durchgeführt. Eine Einschätzung der beiden Varianten hinsichtlich ökologischer Zielgrößen kann daher nur pauschal erfolgen. Bezüglich der Wasserbilanz ist die alternative Lösung der konventionellen überlegen. Während bei der konventionellen Lösung große Wassermengen über die Mischwasserentlastungen in den Nettebach gelangen, wird bei einer vollständigen Abkopplung nicht nur der Zulauf zum Gewässer, sondern auch die Belastung der Kläranlage im Regenfall verringert. Die Versickerung bewirkt zudem eine Reinigung der Niederschlagsabflüsse, bei der konventionellen Lösung hingegen

wird das Mischwasser ungeklärt (oder nur gering gereinigt) in den Nettebach eingeleitet. Auch bezüglich hydraulischem Stress und Spitzenabflüsse ist die dezentrale Lösung positiver zu bewerten.

#### **5.3.4. Ökonomische Variantenanalyse**

Die konventionelle Planung sieht vor, für den neuen Hauptsammler parallel zum Nettebach der Ortslage Niedermette eine Regenentlastung anzuordnen. Um die entlasteten Schmutzfrachten gemäß den geltenden Vorschriften zu begrenzen, ist dieser Regenentlastung ein Rückhaltevolumen in Form eines Staukanals mit unten liegender Entlastung vorzuschalten. Der Staukanal erfordert die Aufweitung des eigentlich hydraulisch ausreichenden Kanals DN 700 auf einen Durchmesser von DN 2000 auf einer Länge von 200 m. Die Mehrkosten für den Staukanal sowie das Entlastungsbauwerk betragen 540.960 Euro. Als Alternative zur konventionellen Planung besteht in der dezentralen Bewirtschaftung des Niederschlagswassers durch ein Mulden-Rigolen-System. Bei der konsequenten Umsetzung dieser Variante, ist keine weitere Regenwasserbehandlung erforderlich.

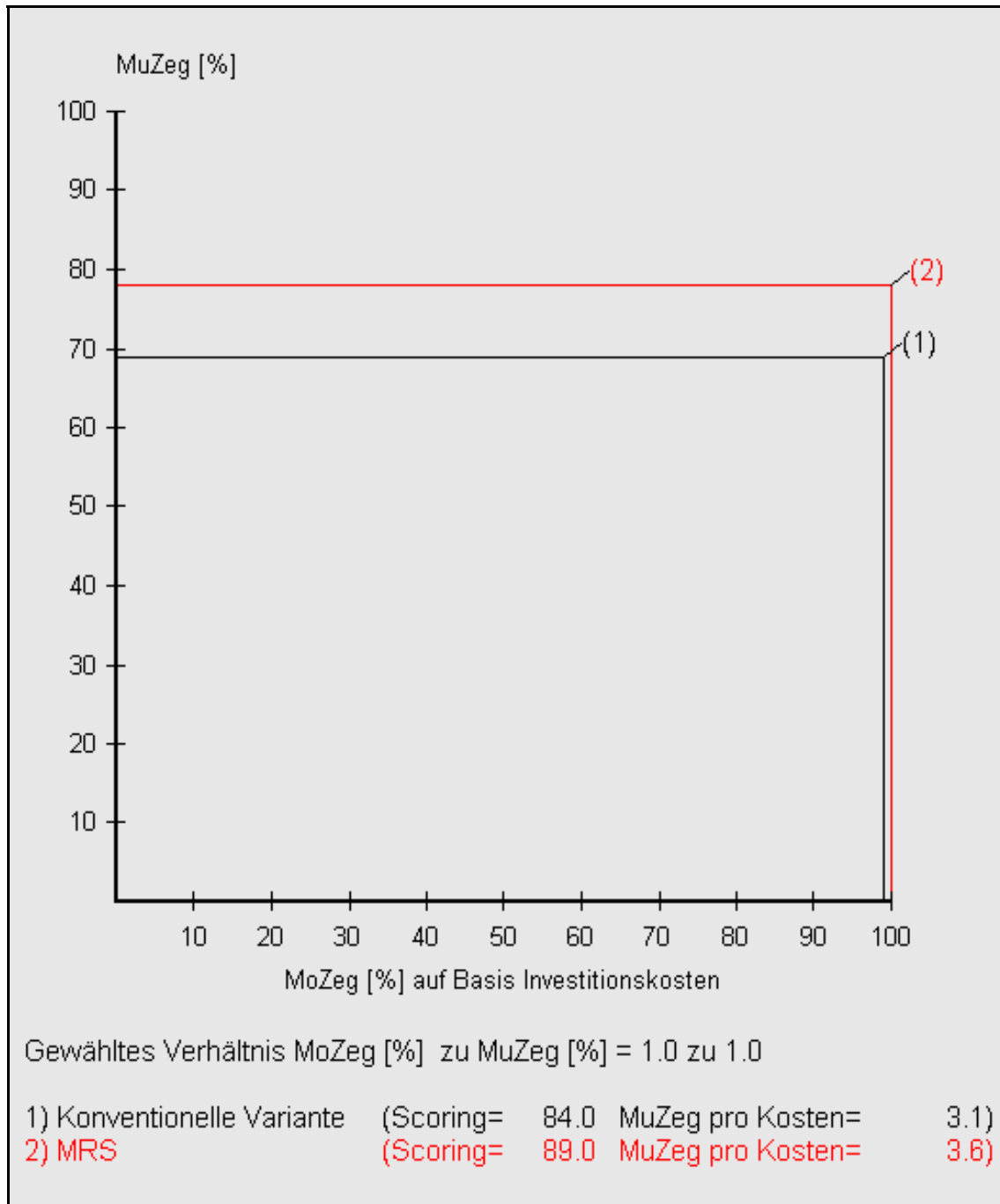


Abb. 29: Nutzwert-Wirtschaftlichkeitsdiagramm des Bestandgebiets Nettebach

Wie das Nutzwert-Wirtschaftlichkeitsdiagramm zeigt, liegen beide betrachteten Alternativen hinsichtlich der monetären Zielerfüllung eng bei einander. Der Kostenbarwert der dezentralen Variante ist mit 2.168.688 Euro ca. 30.000 Euro günstiger als die konventionelle Variante, deren Barwert sich auf 2.199.519 Euro beläuft. Die weitaus höhere multidimensionale Zielerfüllung der dezentralen Variante zeigt jedoch deren Vorteilhaftigkeit in Bezug auf den gesamtgesellschaftlichen Nutzwert.

Aus Sicht des Systemmanagements ist die dezentrale Variante der konventionellen vorzuziehen, da sie bereits zum gegenwärtigen Zeitpunkt ein höheres Scoring aufweist und somit für jede Kosteneinheit einen höheren Nutzen liefert als die konventionelle Variante. Aufgrund der höheren multidimensionalen Zielerfüllung werden auch die zukünftigen Kosten *ceteris paribus* bei der dezentralen Variante niedriger ausfallen, als dies bei der konventionellen Variante der Fall sein wird.

#### **5.4. Betrachtung vollständiger Einzugsgebiete**

Die Wasserrahmenrichtlinie [WRRL 2000] fordert eine Betrachtung von gesamten Flusseinzugsgebieten. Diese großräumige Betrachtungsweise ist auch für Maßnahmen in der Siedlungsentwässerung von Interesse. Mit Hilfe digitaler Informationssysteme lassen sich die Potentiale für eine dezentrale Regenwasserbewirtschaftung für gesamte Einzugsgebiete ermitteln. In drei Arbeitsschritten wird dabei vorgegangen:

- Ermittlung der Flächen, die für einen potentiellen Wasserrückhalt geeignet sind (Bewertung geologischer und hydrologischer Bedingungen)
- Festlegung geeigneter Bewirtschaftungsverfahren in Abhängigkeit der vorliegenden Eigenschaften (z.B. mit dem Modell FLEXT [Jin, Z., et al. 2005])
- Ermittlung eines Abkopplungspotentials in Bestandsgebieten (abhängig von Versiegelungsgrad und Baustruktur).

Die als digitale Karten vorliegenden Ergebnisse können in vielfältiger Weise verwendet werden. Die Emschergenossenschaft hat sich beispielsweise als Ziel gestellt, 15% der an die Kanalisation angeschlossenen versiegelten Fläche in 15 Jahren abzukoppeln [Becker et al. 2005]. Die digitalen Karten geben dabei unter anderem Hinweise darauf, wo günstige Bedingungen für die Anwendung dezentraler Maßnahmen vorliegen (sowohl naturräumlich bedingt als auch hinsichtlich Umsetzbarkeit und Kosten). Auch für das Gebiet der Glems wurde bereits eine einzugsgebietsweite Betrachtung durchgeführt [Sieker, F. et al. 2005]. Geprüft wurde, welche Auswirkungen Abkopplungsmaßnahmen auf den Gütezustand des Gewässers haben können. Dabei konnte festgestellt werden, dass - entgegen der bisherigen Meinungen - dezentrale Maßnahmen auch positive Auswirkungen auf große Hochwässer haben. Sinnvoll erscheint daher eine engere Verknüpfung von Siedlungswasserwirtschaft und Hochwasserschutz. So können herkömmliche Maßnahmen des Hochwasserschutzes durch dezentrale Bewirtschaftungsmaßnahmen ergänzt werden [DWA 2006], was auch hinsichtlich der Investitions-

kosten interessant sein kann. In welcher Größenordnung dezentrale Bewirtschaftungsanlagen zur Reduktion von Hochwasserabflüssen beitragen können, wird aktuell in einem Forschungsvorhaben an dem Gebiet der Mulde untersucht [DBU 2006]. Wichtige Erkenntnisse daraus sind u.a., dass die ungleichförmige Überregnung eines Einzugsgebietes dazu führt, dass die vorliegenden Rückhaltepotentiale (in Mulden und Rigolen) nicht bei jedem Ereignis überall vollständig ausgeschöpft werden. Die Auswirkung auf den Gesamtabfluss ist jedoch nicht zu vernachlässigen.

### **5.5. Schlussfolgerung für Bestandsgebiete**

Für Bestandsgebiete können nicht die gleichen Anforderungen gelten wie für Neubaugebiete. Die gewachsenen Entwässerungssysteme komplett durch dezentrale Maßnahmen ersetzen zu wollen, wäre allein aus Kostengründen nicht möglich. Dennoch bieten gerade Bestandsgebiete ein großes Potential für die Umsetzung dezentraler Maßnahmen zur Verminderung der Gewässerbelastungen. Insbesondere eine Reduzierung von Überlaufereignissen aus dem Mischsystem kann den Stoffeintrag und die hydraulische Belastung der Gewässer deutlich reduzieren. Das Problem der Niederschlagsentwässerung in Bestandsgebieten ist deutlich komplexer als in Neubaugebieten. Neben den Direkteinleitungen aus den Mischsystemen muss auch das über eine Kläranlage geleitete Niederschlagswasser berücksichtigt werden. So hilft eine Verringerung von Regenüberläufen wenig, wenn statt dessen die Kläranlage überlastet wird, damit schlechtere Ablaufwerte erzielt werden und die Gesamtbelastung für das Gewässer möglicherweise noch erhöht wird.

Die untersuchten Gebiete haben gezeigt, dass bei der konventionellen Sanierung bestehender Kanalnetze (z.B. Querschnittsvergrößerung) oft eine Problemverlagerung stattfindet. Überlastungen einzelner Abschnitte werden behoben, dafür kann es aber zu neuen Problemen in unterhalb liegenden Kanalnetzabschnitten kommen. Demgegenüber kann mit dezentralen Lösungen dem überlasteten System Wasser entzogen und somit eine Betriebssicherheit gewährleistet werden.

Die Wirkung von Abkopplungsmaßnahmen auf die Stadtentwässerung wurden auch von der ATV-DVWK Arbeitsgruppe ES 2.6 „Hydrologie der Stadtentwässerung“ untersucht [ATV-DVWK 1999-2005]. Dabei zeigte sich, dass für eine Verbesserung des Gewässerschutzes Maßnahmen zur Verringerung der Mischwasserentlastungen (durch dezentrale Niederschlagswasserbewirtschaftung) wesentlich effektiver sein kön-

nen, als eine Erweiterung der Mischwasserrückhaltung in den Netzen oder Verbesserungen der Kläranlagentechnik, die häufig bereits auf einem hohem Standard ist.

Besonders in dicht besiedelten Gebieten sollte auch der Gedanke des Hochwasserschutzes durch dezentrale Niederschlagswasserbewirtschaftung nicht vernachlässigt werden.

Weitere Beispiele, welche die Umsetzbarkeit dezentraler Bewirtschaftungsmaßnahmen in Bestandsgebieten belegen, finden sich in Sieker et al. 2006.

## 6. Zusammenfassung der Ergebnisse und Empfehlungen

Der vorliegende Ergebnisbericht stellt den Erkenntnisstand bezüglich künftiger Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung dar, der sich aus drei aufeinander folgenden, vom Umweltbundesamt geförderten Forschungsprojekten ergeben hat [vgl. SIEKER et al. 2004]; [SIEKER et al. 2004/1], SIEKER, et al. (vorliegender Bericht).

Ausgangspunkt dieser „Projekt-Trilogie“ war die Frage nach der künftigen Ausfüllung des §7a WHG in Bezug auf die Einleitung von Regenwasserabflüssen in die Gewässer. Diese Regenwasserabflüsse sind nach der gesetzlichen Definition „Abwasser“, unterliegen aber bisher im Gegensatz zu den in der Abwasserverordnung behandelten kommunalen und gewerblichen bzw. industriellen Abwasserarten gesetzlich und bundeseinheitlich keinerlei Beschränkungen hinsichtlich Menge, Frachten oder Konzentrationen. Eine verbal allgemein gehaltene gesetzliche Aufforderung zur mengenmäßigen Beschränkung der Regenwassereinleitungen in Gewässer ergibt sich allerdings aus §1a WHG, wo es heißt : *Jedermann ist verpflichtet, bei Maßnahmen, mit denen Einwirkungen auf ein Gewässer verbunden sein können, die nach den Umständen erforderliche Sorgfalt anzuwenden, um....., um die Leistungsfähigkeit des Wasserhaushalts zu erhalten und um eine Vergrößerung und Beschleunigung des Wasserabflusses zu vermeiden.* Dabei soll laut §7a WHG (1) nach dem „Stand der Technik“ vorgegangen werden, der in §7a WHG (5) wie folgt definiert ist: *Stand der Technik im Sinne des Absatzes 1 ist der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zur Begrenzung von Emissionen in Luft, Wasser und Boden .....zur Vermeidung oder Verminderung von Auswirkungen auf die Umwelt zur Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt gesichert erscheinen lässt.*

Zum Stand der Technik in Bezug auf die Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten gehört inzwischen ohne Zweifel das „Konzept der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung“. Dieses Konzept stellt einen strikten Gegensatz zu den bisher üblichen „konventionellen“ Konzepten der Regenwasserbewirtschaftung , den konventionellen Misch- und Trennsystemen, dar: Letztere sind darauf ausgerichtet, das Regenwasser möglichst vollständig aus dem Bereich der Siedlungsflächen abzuleiten und Maßnahmen der Abflusssdämpfung und Reinigung erst als „end-of-pipe“-Lösungen an den Übergabepunkten in die Gewässer einzurichten. Nach dem Konzept der dezentralen Bewirtschaftung soll dagegen möglichst wenig Regenwasser in die Gewässer abgeleitet werden. Es soll stattdessen – im allgemeinen Fall - über eine Kombination aus Rei-

nigung, Speicherung, Versickerung und gegebenenfalls gedrosselter Ableitung, so bewirtschaftet werden, dass die resultierende Wasserbilanz der bewirtschafteten Flächen der des unbebauten Zustandes möglichst nahe kommt. Dieses ist – bezogen auf ganze Baugebiete – nur durch eine möglichst weitgehende flächenbezogene Aufteilung der Bewirtschaftungsmaßnahmen möglich, also durch dezentral angeordnete Bewirtschaftungsanlagen, die gegebenenfalls durch ein Ableitungssystem für gedrosselte Abflüsse vernetzt werden.

Das „Konzept der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung“ ist inzwischen in Forschung und Praxis soweit herangereift, dass es als „Stand der Technik“ bezeichnet werden muss. Das Konzept wurde daher in allen drei vorgenannten Projekten einschließlich des vorliegenden als Vergleichsmaßstab gegenüber den konventionellen Konzepten der Misch- und Trennsysteme herangezogen. Dieses entspricht der Aufforderung des Gesetzgebers in §7a WHG (1) und (5), den Stand der Technik zu berücksichtigen.

Das erste Projekt der Trilogie [SIEKER, et al. 2004] befasste sich insbesondere mit der Diskussion und Erarbeitung von Zielgrößen und Anforderungen, die künftig unter Beachtung der Vorgaben des WHG, §1a (2) und §7a (1 und 5) der Regenwasserbewirtschaftung, zugrunde liegen sollten. Wie zu erwarten, kommt dabei das Konzept der dezentralen Bewirtschaftung (im Projekttitel wird statt des allgemein gültigeren Begriffs „dezentrale Bewirtschaftung“ noch der nach heutiger Erkenntnis zu enge Begriff „ortsnahe Versickerung“ verwendet) den Vorgaben des WHG hinsichtlich der einzuleitenden Mengen, Frachten und Konzentrationen bei weitem näher als die konventionellen Konzepte. Dabei stellt sich das Konzept der Mischsysteme einschließlich der zugehörigen Mischwasserbehandlung nach ATV A 128 als die Gewässer besonders gravierend belastend heraus. Dieses gilt im Vergleich zu den Belastungswerten des dezentralen Konzeptes, wenn dieses auf Neubaugebiete mit eigener Einleitung in Gewässer oder auf so genannte Erweiterungsgebiete mit Einleitung in bestehende konventionelle Systeme angewendet werden. Da man jedoch die gewachsenen Verhältnisse der Gewässerbelastung durch Bestandsgebiete kurzfristig nur mit wirtschaftlich unangemessenem Aufwand verbessern kann, müssen sich die nächsten Schritte bei Bestandsgebieten darauf konzentrieren, Elemente des dezentralen Konzeptes sukzessive in diese Gebiete zu integrieren, wann immer sich dazu Gelegenheiten bieten.

Entsprechend befasst sich das zweite Projekt der Trilogie [SIEKER, et al., 2004/1] mit der Frage, ob und unter welchen örtlichen Bedingungen eine Umstellung von Flächen,



die bisher an Mischwassersysteme angeschlossen sind (als Abkoppelungsmaßnahmen bezeichnet), auf das dezentrale Prinzip möglich und wirtschaftlich ist, wirtschaftlich im Vergleich zu sonst notwendigen Umbau- oder Erweiterungsarbeiten am bestehenden Netz. Am Beispiel eines städtischen Teileinzugsgebietes (Würzburg) werden auch verschiedene Kombinationsvarianten untersucht und in einer Nutzwertanalyse, in die auch Nebenwirkungen einbezogen werden, einander gegenübergestellt. In einer einzugsgebietsweiten Untersuchung [SIEKER/ZIMMERMAN/SOMMER 2005] aller Siedlungsflächen im Gebiet der Glems/Baden-Württemberg wurden außerdem die positiven Auswirkungen dezentraler Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Minderung von Hochwasserabflüssen untersucht und nachgewiesen. Die Erklärung für diese in Fachkreisen bisher unberücksichtigte Wirkung dezentraler Bewirtschaftungsmaßnahmen liegt in Folgendem:

Das Rückhaltevermögen dezentraler Bewirtschaftungsanlagen besteht aus der Summe des Speichervolumens und der Versickerungsleistung während des Bewirtschaftungsereignisses. Hochwasserspezifische Niederschlagsereignisse zeichnen sich in der Regel weniger durch hohe Niederschlagsintensitäten als durch ihre lange Dauer aus. Während dieser langen Dauer wird zwar das Speichervermögen wie bei kurzen intensiven Regen auch in Anspruch genommen, es überwiegt innerhalb des Rückhaltevolumens jedoch die Versickerungsleistung. Langzeitsimulationen bezüglich dezentraler Bewirtschaftungsanlagen weisen nach [8], dass selbst bei intensiven, lang dauernden und damit seltenen Ereignissen, die Bewirtschaftungsanlagen zwar überlaufen (da sie in der Regel auf Überlastungsintervalle von  $T = 5$  Jahre bemessen werden) das Rückhaltevermögen aufgrund der Versickerungsleistung jedoch bei mehr als 80% des Niederschlags liegt.

Dezentrale Bewirtschaftungsmaßnahmen können also nicht nur zum weitgehenden Erhalt der Wasserbilanzgleichung beitragen, sondern auch zur Minderung der Hochwasserabflüsse bebauter Gebiete.

Für die systematische Planung und Umsetzung von „Abkoppelungsprogrammen“ in Bestandsgebieten, wurden im Projekt SIEKER et al. 2004/1 Verfahren entwickelt, die die Erstellung von „Potenzial- und Maßnahmenkarten der dezentralen Bewirtschaftung“ ermöglicht. Damit können die Flächen, die sich aufgrund der örtlichen Bedingungen mehr oder weniger gut für die dezentrale Bewirtschaftung eignen, vorausschauend identifiziert werden (Potenzialkarten) und mit den jeweils in Frage kommenden Maßnahmen (vernetzte, unvernetzte Anlagen usw.) planungsgerecht überlagert werden.

Damit können langfristige Programme erstellt werden, konventionell entwässerte Siedlungsgebiete, insbesondere solche mit Mischkanalisationen, sukzessive und partiell auf die dezentrale Bewirtschaftungsform umzustellen. Damit lassen sich Ziele und Anforderungen, die derzeit in Bestandsgebieten noch utopisch erscheinen, sukzessive annähern.

Das Projekt des vorliegenden Endberichts [SIEKER et al., 2006] befasst sich schwerpunktmäßig mit Neubau- und Erweiterungsgebieten (Definition vgl. Abb. 1) Bei diesen Gebieten besteht im Gegensatz zu den Bestandsgebieten weitgehend Handlungsfreiheit bezüglich der möglichen Bewirtschaftungsmaßnahmen. Neubau- und Erweiterungsgebiete bieten sich daher als Handlungsfeld für das Konzept der dezentralen Bewirtschaftung an.

Zielstellung des Forschungsvorhabens war es, unterschiedliche Verfahren zur Regenwasserentsorgung und –bewirtschaftung hinsichtlich ökologischer und ökonomischen Kenngrößen zu vergleichen. Betrachtet wurden dabei nur Verfahren, welche mindestens die heutigen Minimalanforderungen an Entwässerungskomfort und Gewässerschutz erfüllen. Außerdem wurde die Leistungsfähigkeit der Verfahren hinsichtlich erhöhter Anforderungen geprüft. Als Kriterien wurden dazu insbesondere die Wasserbilanz (mit einer zulässigen mittleren jährlichen Abflusserhöhung um 10 Prozentpunkte des mittleren jährlichen Niederschlags) und die Größe der in die Gewässer eingetragenen Fracht abfiltrierbarer Stoffe ( $AFS < 200 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ ) herangezogen.

An einer Vielzahl von Praxisbeispielen konnte gezeigt werden, dass dezentrale Lösungen zur Regenwasserbewirtschaftung mittlerweile eine etablierte Methode darstellen, die konventionellen Lösungen in vielen Punkten überlegen sind. Besonders gravierende Unterschiede traten bei der Betrachtung der Wasserbilanz auf. Während in konventionellen Trenn- und Mischsystemen der gesamte auf versiegelten Flächen anfallende Niederschlag zum Abfluss gebracht wird, kann bei Verwendung dezentraler Lösungen mit Versickerungsanteil ein Teil der Niederschläge direkt im Gebiet zurückgehalten werden. Aus Sicht des natürlichen bzw. im unbebauten Zustand vorzufindenden Wasserhaushalts wären daher dezentrale Lösungen immer zu bevorzugen.

Bei der Begrenzung der Stoffeinträge in die Gewässer können auch herkömmliche Lösungen (z.B. Bodenfilterbecken) erhöhte Anforderungen erfüllen. Derartige Anlagen führen jedoch oft zu deutlich höheren Kosten als bei der Verwendung dezentraler Be-

wirtschaftungssysteme, welche durch die Bodenpassage automatisch den gleichen Reinigungseffekt erzielen.

Für alle betrachteten Gebiete konnten dezentrale Lösungen gefunden werden. Damit wird das Vorurteil widerlegt, diese Verfahren seien nur eingeschränkt anwendbar. Bei ungünstigen Bodeneigenschaften oder höheren Grundwasserständen ist zwar eine gedrosselte Ableitung vorzusehen, das vorhandene Versickerungspotential kann jedoch trotzdem genutzt und die Änderungen der Wasserbilanz damit gering gehalten werden.

Auch für Spitzenabflüsse konnte der Vorteil dezentraler Lösungen demonstriert werden. Während in konventionellen Systemen mit Speicherbecken das Niederschlagswasser zeitlich verzögert dem Gewässer zugeführt wird und damit noch zu einer Verlängerung der Hochwasserwelle beitragen kann, wird durch dezentrale Entwässerungslösungen über die Versickerung dem Gewässer während des Ablaufs der Abflusswelle eine Wassermenge entzogen, die jedoch gegebenenfalls in Trockenzeiten zur Erhöhung der Basisabflüsse beitragen kann.

In dem vorliegenden Vergleich wurde unterschieden zwischen Bestands-, Neubau- und Erweiterungsgebieten. Für neu zu bauende Neubau- und Erweiterungsgebiete wäre es wichtig, erhöhte Anforderungen bezüglich Wasserhaushalt und zulässigen Einleitungsrfrachten möglichst bald festzulegen. Gerade bei der Neuplanung von Wohn- oder Industriegebieten existiert ein sehr hoher Freiheitsgrad für den Planer, sodass dezentrale Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung frühzeitig in Bebauungsplanung und Grünflächengestaltung eingebunden werden können.

In ökonomischer Hinsicht ergeben sich für Neubau- und Erweiterungsgebiete insbesondere folgende Schlussfolgerungen:

Sofern eine vollständige Versickerung der Niederschlagswässer aufgrund der örtlichen Gegebenheiten nicht möglich ist, liegen die Kosten für vernetzte Mulden-Rigolen-Systeme und Trennsysteme häufig in der gleichen Größenordnung. Mulden-Rigolen-Elemente erweisen sich durch das fehlende Ableitungssystem als deutlich günstiger. Sobald jedoch erhöhte stoffliche Anforderungen an den Einleitungsabfluss gestellt werden, müssen in konventionellen Trennsystemen teure Bodenfilterbecken gebaut werden, wodurch die dezentralen Mulden-Rigolen-Systeme preislich günstiger werden.

Betrachtet man die Niederschlagsentwässerung von Neubaugebieten aus gesamtgesellschaftlicher Sicht, werden weitere Vorteile einer dezentralen Bewirtschaftung deutlich. Aufgrund ihrer Merkmalsausprägungen sind dezentrale Systeme anpassungsfähiger, fehlertoleranter und flexibler gegenüber sich verändernden Rahmenparametern. Sie können z.B. mit dem Bebauungsgebiet mitwachsen. Sollte nur ein Teil der Planung umgesetzt werden, bedeutet dies nicht, dass - wie bei einem konventionellen Trennsystem - Rohrnetz und Anlagen brach liegen würden. Investitionen können dann getätigt werden, wenn die Anlagen tatsächlich benötigt werden.

Für Bestandsgebiete kann nur eine abgeschwächte Zielstellung verfolgt werden, da eine Vielzahl von Randbedingungen (städtebaulicher und ökonomischer Art) eine Angleichung beispielsweise der Wasserbilanz an den unbebauten Zustand verhindern. Entscheidend für die Planung von Maßnahmen in Bestandsgebieten sollte jedoch der Vergleich unterschiedlicher Lösungen sein, zu oft wurden bisher dezentrale Lösungen nicht berücksichtigt. Dabei können gerade durch Verringerung der abfließenden Niederschläge (bei Versickerung vor Ort) oft wesentlich kostengünstigere Lösungen erzielt werden, da auf die Erweiterung von Kanalquerschnitten oder den Bau von zusätzlichen Rückhaltebecken verzichtet werden kann.

In den kommenden Jahren werden Milliarden Euro in die Modernisierung der Abwasserinfrastrukturen fließen. Mit diesen notwendigen Erneuerungsinvestitionen ist die Möglichkeit gegeben, nachhaltige Strukturen zu implementieren. Von großer Bedeutung für eine Neuausrichtung ist dabei die Ausrichtung der Infrastrukturpolitik entlang der systemischen Prinzipien, um den gesellschaftlichen Bedürfnissen und den ökologischen Erfordernissen gleichermaßen gerecht zu werden.

Angesichts einer global prognostizierten Verknappung ist ein nachhaltiger Umgang mit der Ressource Wasser von höchster Bedeutung. Wie erheblich sich Faktoren wie der Klimawandel, zunehmende Versiegelungsgrade von Bebauungsgebieten etc. auf die Situation des Wasserhaushalts in Deutschland auswirken werden, kann gegenwärtig nicht eindeutig beantwortet werden. Aus ökologischer und wirtschaftlicher Sicht ist es aber notwendig, die möglichen negativen Auswirkungen nach bestem Wissen mit allen zur Verfügung stehenden technischen Mitteln so weit wie möglich zu neutralisieren oder abzuschwächen.

Die nachhaltige Bewirtschaftung des Regenwassers stellt in diesem Zusammenhang eine Möglichkeit dar, mit der nachteilige ökologische Auswirkungen des konventionellen kanalorientierten Ableitungsprinzips ausgeglichen werden können.

Die traditionelle Ableitung ist vielerorts nicht vollständig durch dezentrale Maßnahmen zu ersetzen. Aus wirtschaftlicher Sicht ist es aber dringend erforderlich, die dargestellten ökologischen und wasserwirtschaftlichen Vorteile der naturnahen Bewirtschaftung des Regenwassers zukünftig in Investitionsplanungen einzubeziehen, da enorme gesamtwirtschaftliche Schäden durch sinkende Grundwasserpegel, steigende Hochwasserspitzen, sterbende Flora und Fauna in Oberflächengewässern etc. zwar wahrscheinlich nicht vollständig unterbunden, aber sehr wohl abgemildert werden können.

Aus ökonomischer Sicht kann bereits eine geringe Abmilderung der oben genannten ökologischen Nachteile zu einer gesamtgesellschaftlichen Ersparnis von vielen hundert Millionen Euro führen. Die in dieser Arbeit durchgeführten Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen haben gezeigt, dass dezentrale Verfahren bereits zum Zeitpunkt der Implementierung um ein Vielfaches kostengünstiger sein können als konventionelle Systeme. Es wurde auch deutlich, dass die gegenwärtige Förderpraxis aufgrund ihrer ordnungspolitischen Ausgestaltung eine direkte Realisation dieses Kosteneinsparpotenzials verhindert. Um eine nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen zu garantieren, ist es aus diesem Grund von enormer Bedeutung, dass auch auf gesetzlicher Ebene ein Perspektivenwechsel stattfindet, der ein nachhaltiges Wirtschaften in den Focus rückt und das Spektrum der Betrachtung auf alle auf dem Markt befindlichen Technologien ausweitet.

## **7. Literatur**

### **AbwAG (1996)**

Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer (AbwAG), Abwasserabgabengesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 1994, BGBl. I S. 3370, geändert durch G.v. 11.11.1996, BGBl. I, S. 1690

### **AbwV (2000)**

Verordnung über das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung – AbwV), Deutscher Taschenbuchverlag, S. 268

### **ATV- DVWK-A128 (1992)**

Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen, Regelwerk Abwasser-Abfall der Abwassertechnischen Vereinigung, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V. (GFA)

### **ATV-DVWK (1999-2005)**

Arbeitsgruppe ES 2.6 (Hydrologie der Stadtentwässerung), Beiträge zu Abkopplungsmaßnahmen in der Stadtentwässerung (1999-2005)

### **ATV-DVWK-M153 (2000)**

Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser“, 02/2000

### **BBodSchV (1999)**

Bundes- Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BbodSchV)

### **Becker, M., Geretshauser, G., Spengler, B., Sieker, H. (2005)**

A stormwater management information system for the catchment of the River Emscher, 10<sup>th</sup> International Conference on Urban Drainage, Copenhagen/Denmark, 21-26 August 2005

### **BMU (2003)**

Hydrologischer Atlas von Deutschland, Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2003

### **BMWi (2001)**

Bundesministerium für Wirtschaft (2001): Optionen, Chancen und Rahmenbedingungen einer Markttöffnung einer nachhaltigen Wasserversorgung – Endbericht – BMWi, Forschungsvorhaben (11/00), Berlin 2001

**Brombach, H., Fuchs, St. 2003**

Datenpool gemessener Verschmutzungskonzentrationen in Misch- und Trennkanalisationen, Korrespondenz Abwasser Nr. 4 2003

**Bundesministerium (2004) für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit**

Umweltpolitik, Föderalismusreform: Neuordnung der Umweltkompetenzen, Für einen integrierten Schutz von Natur, Boden, Wasser, Luft, Berlin 29. März 2004, Tagungsdokumentation

**BWK M3 (1999)**

Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagwassereinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse, April 2001, Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V.

**DBU (2006)**

Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche unter besonderer Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte- am Beispiel des Flusseinzugsgebietes der Mulde in Sachsen, Forschungsprojekt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, AZ 21467

**Difu (2002)**

Deutsches Institut für Urbanistik, Liberalisierung und Privatisierung öffentlicher Aufgabenbereiche in Kommunen – sozial-ökologische Problemlagen und Chancen für eine nachhaltige Entwicklung – Endbericht – Sondierungsprojekt 07SOE22 im Förderschwerpunkt „Sozial-ökologische Forschung“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, BMBF, Berlin

**DWA (2006)**

Dezentrale Maßnahmen zur Hochwasserminderung, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., April 2006, 109 S.

**DWA A 100 (2005)**

Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung , Oktober 2005, Gelbdruck

**Enquete-Kommission (2001)**

Globalisierung der Weltwirtschaft – Zwischenbericht, Drucksache 14/6910, Deutscher Bundestag, Berlin 2001

**Götze, U./Bloech, J. (1995)**

Investitionsrechnung. Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben, 2. Aufl., Berlin u.a. 1995

**Grottker, M. (1987)**

Regenwasserbehandlung in Trennsystemen, Mitteilungen des Institutes für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landw. Wasserbau, Heft 66

**Horlacher, A. (2002)**

Gewässerentwicklungskonzept Kupfer, Diplomarbeit, Fachhochschule Nürtingen, Hochschule für Wirtschaft, Landwirtschaft und Landespflege, Fachbereich Landschaftsarchitektur, Umwelt- und Stadtplanung, Wintersemester 2001/2002

**Institut für Abwasserwirtschaft Halbach (2003)**

Kommunale Abwasserbeseitigung, normative Kosten und Risikoabbau, Werdau 2003

**IPS Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH**

Handbuch zum Simulationsmodell STORM, [www.sieker.de](http://www.sieker.de)

**Jin, Z., Sieker, F., Bander mann, S., Sieker, H. (2005)**

Development of a GIS-based expert system for on-site stormwater management, 10<sup>th</sup> International Conference on Urban Drainage, Copenhagen/Denmark, 21-26 August 2005

**LAWA (1998)**

Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien), Berlin 1998

**Lehn, H./Renn, O./Steiner, M. (1999)**

Nachhaltiger Umgang mit Gewässer. Ökologisch, ökonomische und soziale Zieldimensionen der Agenda 21, in: GWF Wasser Abwasser, 140 Jg. (1999), H. 13, S. 14 – 20

**Müller, U./Pasche, M. (1992)**

Energiestrategien aus Sicht des Systemmanagements, Diskussionspapier Nr. 168, Hannover 1992

**PIK 2006**

[www.pik-potsdam.de/pik\\_web/press/pressrelease/pm\\_vulneurope\\_d.htm](http://www.pik-potsdam.de/pik_web/press/pressrelease/pm_vulneurope_d.htm)

**Rinza, P./Schmitz, H./Scharf, A (1977)**

Nutzwert-Kosten-Analyse – Eine Entscheidungshilfe. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1977

**Schierenbeck, H. (2000)**

Grundzüge der Betriebswirtschaftslehre, München u.a. 2000

**Schweres, M./Sengotta, M. (1994)**

Entwicklung und Evaluation eines Verfahrens der erweiterten Wirtschaftlichkeitsrechnung zur Bewertung komplexer Arbeitssysteme, Dortmund 1994



**Sieker, F. (2003)**

Regen(ab)wasser und Misch(ab)wasser, eine vernachlässigte Schmutzquelle ?,  
gwf Nr.9

**Sieker, F. (2006)**

Dezentrale Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Siedlungsgebieten  
als Beitrag zur Minderung extremer Hochwasserabflüsse in beliebig großen  
Einzugsgebieten, GWF, April 2006, S. 310-314

**Sieker, F., et al. (2004)**

Regen(ab)wasserbehandlung und –bewirtschaftung unter Berücksichtigung der  
Anforderungen nach §7a WHG und einer möglichst ortsnahe Versickerung,  
UBA Texte 09/2004

**Sieker, F., et al. (2004)/1)**

Ökologische und ökonomische Vergleichsbetrachtung zwischen dem Konzept  
der konventionellen Regenwasserentsorgung und dem Konzept der dezentralen  
Regenwasserbewirtschaftung, Endbericht Teilvorhaben Mischsysteme, Februar  
2004, UFO-PLAN–Vorhaben FKZ 203 26 391 / TL 01

**Sieker, F., Kaiser, M., Sieker, H. (2006)**

Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung im privaten, gewerblichen und kom-  
munalen Bereich- Grundlagen und Ausführungsbeispiele, Fraunhofer IRB Ver-  
lag, Frühjahr 2006

**Sieker, F.; Zimmermann, U., Sommer, H. (2005)**

Entwicklung eines Planungsinstrumentes zur flächenbezogenen Regenwasser-  
bewirtschaftung unter besonderer Berücksichtigung des vorbeugenden Hoch-  
wasserschutzes, Wasserwirtschaft Nr.3 2005, S. 7-14

**Stauss, M. (1999)**

Auswirkungen dezentraler Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung auf  
die Hochwasserentwicklung- dargestellt an elementaren Flächen, Diplomarbeit,  
Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau  
Universität Hannover, Januar 1999

**UBA (2003)**

Abtrag von Kupfer und Zink von Dächern, Dachrinnen und Fallrohren durch  
Niederschläge, Umweltbundesamt, im Internet veröffentlicht

**UBA (2004)**

Presse- Information Nr.100/2004: Abwasserwirtschaft- quo vadis?

**Vester, F. (2002)**

Die Kunst vernetzt zu denken. Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang  
mit Komplexität, München 2002

**WHG (2002)**

Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (WHG), Wasserhaushaltsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 12. November 1996, BGBl. I, S. 1695, zuletzt geändert durch Artikel 7 des Gesetzes zur Umsetzung der UVP- Richtlinie, der IVU Richtlinie und weiterer EG-Richtlinien zum Umweltschutz vom 27. Juli 2001, BGBl. I, S. 1950

**WRRL (2000)**

Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), Abl. EG Nr. L 327

**Wuppertal Papers (2004)**

Wege von der nachholenden zur nachhaltigen Entwicklung, Infrastrukturen und deren Transfer im Zeitalter der Globalisierung, No. 140, ISSN 0949-0266

**Zangemeister, C. (1971)**

Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, 2. Aufl. München: Wittmansche Buchhandlung, 1971

## 8. Anhang zu den ökonomischen Untersuchungen

### 8.1. Erweiterter Kriterienkatalog mit Bewertungsrichtlinien

<u>Hierarchische Kriterienliste</u>				
Projekt: Erweiterter Standardkatalog Alternative: (noch unberücksichtigt) Datei: NOAME1.BWR			Datum: 11.11.2005 Druck: 5/5/2005 Erhebung: / 2005 Seite: 3/3	
Arbeitssystemwert: n.v.    Homogenität: n.v.    MuZeg: n.v.				
Kriterium	Rel. Gew.	Abs. Gew.	Bewertung	
2.6.3. Stoffbeseitigung	---	---	---	
2.6.4. Emissionsminderung	---	---	---	
2.7. Mikroklima	---	---		
2.7.1. Erhalt von Feuchtgebieten / -biotopen	---	---	---	
2.7.2. Erhalt des natürlichen Kleinklimas	---	---	---	
3. Soziologie	---	---		
3.1. Nutzwert	---	---	---	
3.2. Symbolwert	---	---	---	
3.3. Funktionswert	---	---	---	
3.4. Existenzwert	---	---	---	
3.5. Optionswert	---	---	---	
Abs. Gew.: Absolute Gewichtung n.v.: nicht bestimmbar			Rel. Gew.: relative Gewichtung Bewertung: falls vorhanden	
2.6.2. Stoffvermeidung	---	---	---	
Abs. Gew.: Absolute Gewichtung n.v.: nicht bestimmbar			Rel. Gew.: relative Gewichtung Bewertung: falls vorhanden	

## 8.2. Bewertungsrichtlinien

### 1.1. Funktionsorientierung

In der Natur gibt es für keine herausgebildete Struktur eine Überlebensgarantie. Das System Biosphäre wird wie alle anderen Systeme mit einem kontinuierlichen Wandel der Rahmenparameter konfrontiert. Ändern sich die Umweltbedingungen, so zieht dies eine Veränderung der optimalen Anpassung nach sich. Ehemals optimal angepasste

Organismen sehen sich mit einem Evolutionsdruck konfrontiert. Überlebensfähige Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass sie in der Lage sind auf veränderte Rahmenbedingungen flexibel zu reagieren. Sie stellen die Erfüllung der Funktion in den Vordergrund und nicht die Produkte die zur Erfüllung der Funktion verwendet werden.

#### **1.1.1. Flexibilität**

Bezeichnet die Anpassungsmöglichkeiten der Verfahren an die lokalen Merkmale des zu entwässernden Gebietes.

##### **1.1.1.1. Diversität**

Die Anpassung an lokale Randbedingungen begünstigt oder erzwingt die Entstehung verschiedener biologischer Formen. Da die Existenz des Organismus A gleichzeitig zu den Entwicklungsbedingungen des Organismus B gehört und umgekehrt, können bereits kleine Unterschiede zu einem komplexitätssteigernden Ausdifferenzierungsprozess führen. Es ist daher paradox von einer optimalen Form oder einer optimalen Struktur der Abwasserwirtschaft zu sprechen, da die optimale Ausgestaltung auf lokalen und temporären Maßstäben beruht, wenn gleich es auch globale vom System unabhängige Merkmale biologischer Organisationsformen gibt. Auf der strategischen Ebene bedeutet dieser Sachverhalt, dass es keine wasserwirtschaftliche Technologie gibt, die unter allen Umständen die ökologisch beste ist, sondern dass die Alternativen in regional sehr unterschiedlichen Mischungsverhältnissen genutzt werden müssen. Dies setzt voraus, dass das jeweilige Prinzip (konventionell/dezentral) zur Regenwasserentsorgung sich anhand einer Vielzahl von unterschiedlichen Verfahren umsetzen lässt, die über jeweils unterschiedlich Nutzenprofile verfügen und somit das Verfahren gewählt werden kann, das anhand seines Nutzenprofils optimal zu den örtlich Gegebenheiten passt.

##### **1.1.1.1.1. Verfahrensvielfalt**

Jedes Gebiet weist regionale Unterschiede auf. Die hydrologische und wasserwirtschaftlichen Gegebenheiten können sich im Vergleich sehr unterschiedlich darstellen. Die Verfahren in der Regenwasserwirtschaft sollten so angelegt sein, dass ein Planer unter einer Vielzahl von Verfahren mit unterschiedlichen Nutzenprofilen das Verfahren auswählen kann, dass dem regionalen Anforderungsprofil optimal entspricht. Dazu ist es notwendig auf eine möglichst große Anzahl von Verfahren zurückgreifen zu können.

Sehr gut: Das zur Anwendung kommende Prinzip der Regenwasserentsorgung kann auf eine Vielzahl von unterschiedlichen Verfahren zur Anwendung zurück greifen.

Befriedigend: Das gewählte Prinzip verfügt lediglich über eine beschränkte Anzahl von Verfahren.

Mangelhaft: Das Prinzip verfügt über eine ungenügende Vielfalt unterschiedlicher Anwendungsmöglichkeiten, so dass regionale Potenziale weitgehend ungenutzt bleiben.

#### **1.1.1.1.2. Konstruktionsänderungen**

Da nachträgliche Änderungen an einem bereits implementierten System nur unter sehr intensivem Kapitalaufwand möglich sind, sollten derartige Eingriffe von vornherein vermieden werden. Die Praxis zeigt jedoch, dass solche Eingriffe unvermeidlich sind. Ein System stellt sich daher um so wirtschaftlicher da, je einfacher es im Falle von konstruktiven Eingriffen modifiziert werden kann.

Sehr gut: Kleine Konstruktionsänderungen werden innerhalb einer kurzen Zeitspanne durchgeführt oder parallel zum implementierten System vorbereitet, so dass die Funktionalität nur kurzzeitig eingeschränkt wird.

Befriedigend: Kleine Konstruktionsänderungen werden innerhalb einer mittleren Zeitspanne ausgeführt. Die Funktionalität wird teilweise eingeschränkt.

Mangelhaft: Kleine Konstruktionsänderungen benötigen eine längere Zeitspanne. Die Funktionalität des Systems ist nicht gegeben.

#### **1.1.1.2. Ausfälle**

Unvorhersehbare Einflüsse auf ein System können dazu führen, dass das System zumindest teilweise ausfällt bzw. die Funktionalität eingeschränkt wird. Es ist daher als positiv anzusehen, wenn ein System Ausfallstrategien fahren kann, um Funktionsausfälle und damit verbundene Kosten zu minimieren. Damit ist jedoch nicht gemeint, dass jedes System durch ein im Normalfall nicht benötigtes Ersatzsystem oder überdimensionierte Puffer abgesichert sein sollte, da dies mit dem Ansatz des effizienten Ressourceneinsatzes nicht zu vereinbaren ist.

Sehr gut: Das komplexe System kann selbst bei Ausfall von Leitsystemen und einzelner Komponenten mit geringsten Funktionalitätsverlust weiterbetrieben werden. Auswirkungen auf die nachfolgenden Systeme können dabei durch Ausfallstrategien weitgehend eingedämmt werden. Die Ausfallwahrscheinlichkeit ist gering.

Befriedigend: Eine eingeschränkte Funktionserfüllung ist möglich, solange nur das Leitsystem oder eine Komponente ausfällt. Dabei ist die Ausfallwahrscheinlichkeit des Leitsystems und von Komponenten, die für die nachfolgenden Prozesse relevant sind, gering.

Mangelhaft: Die Funktion ist massiv eingeschränkt, sobald nur eine Komponente oder das Leitsystem ausfällt. Die nachfolgenden Systeme werden ebenfalls sofort stark beeinträchtigt.

#### **1.1.1.3. Umweltveränderungen**

Sind mit den Investitionen in die Infrastruktur der Regenwasserentsorgung erhebliche Pfadabhängigkeiten und „Lock-In“-Effekte verbunden, können Veränderungen der Umweltparameter wie Kapazitätsanpassungen aufgrund von wechselnden Migrationstrends, Auswirkungen des Klimawandels wie Überschwemmungen, Erdbeben, Bergsenkungen etc. zu erheblichen Folgeinvestitionen führen. Es ist daher von hoher Bedeutung, dass die Verfahren, die zur Anwendung kommen über ein ausreichendes Reversibilitätspotenzial verfügen, um die Kosten möglichst gering zu halten.

Sehr gut: Das zur Anwendung kommende Verfahren ist aufgrund seiner Merkmalsausprägungen flexibel und das System kann an größere Veränderungen der Umgebungsparameter zu geringen Kosten angepasst werden.

Befriedigend: Das System wird unter moderaten Kosten an die Veränderungen angepasst. Die Funktionalität wird teilweise beeinträchtigt.

Mangelhaft: Das System kann nur unter erheblichen Kosten an die neue Situation angepasst werden.

#### **1.1.2. Fehlertoleranz**

Kapazitätsausfälle, Umweltveränderungen sowie Konstruktionsänderungen stellen Ereignisse dar, die sich mehr oder weniger folgeschwer auf das System auswirken können. In diesem Zusammenhang ist die Anfälligkeit des Verfahrens von besonderem

Interesse, wenn es mit einem unvorhergesehenen Ereignis konfrontiert wird. D.h. wie tolerant zeigt sich das System gegenüber Anomalien.

Sehr gut: Fehler können auftreten und behoben werden ohne, dass die Funktionalität des gesamten Systems beeinträchtigt wird.

Befriedigend: Fehler vermindern die Funktionserfüllung des Gesamtsystems.

Mangelhaft: Auftretende Fehler machen eine Funktionserfüllung unmöglich.

### **1.1.3. Personaleinsatz**

Eine hohe Flexibilität bezüglich des Personaleinsatzes bedeutet, dass die Abwesenheitszeiten von Arbeitnehmern, nicht zu Funktionsausfällen führen. D.h. die Arbeitnehmer müssen sich gegenseitig ersetzen können. Dazu wird es implizit auch notwendig, dass die Arbeitnehmer aufgrund ihrer Qualifikation in der Lage sind, auch die Tätigkeiten ihrer Kollegen zu übernehmen. Diese Qualifikationselemente sind weit mehr von den Menschen abhängig als vom System selbst und werden deshalb bei einer prospektiven Betrachtung nur schwer zu beurteilen sein.

Sehr gut: Das System ist so ausgestaltet, dass jeder Arbeitnehmer auch die Aufgaben seiner Kollegen übernehmen kann.

Befriedigend: Das System schränkt die Möglichkeit der Arbeitsübernahme nicht ein, legt sie aber auch nicht nahe. Daher können die meisten Mitarbeiter die Aufgaben einiger ihrer Kollegen übernehmen.

Mangelhaft: Das System ist so angelegt, dass kaum ein Arbeitnehmer die Arbeiten seiner Kollegen übernehmen kann.

## **1.2. Effizienz**

Unter Wettbewerbsbedingungen setzte sich tendenziell die Struktur durch, die Inputschwankungen besser verarbeiten kann als andere und die eine bestimmte Funktion mit geringstem Energie- und Ressourcenverbrauch gewährleisten kann. In der momentanen Praxis der Abwasserwirtschaft, in Mischsystemen, werden Abwasserkanäle überdimensioniert, damit sie im Falle von Regenereignissen die Niederschlagsmengen aufnehmen können. Zudem werden für das Eintreten von Überstauungen im Zuge von Starkregenereignissen Retentionsbecken mit enormen Fassungsvermögen errichtet, die bei normaler Witterung keine Funktion besitzen. Diese Überdimensionierungen von

Bauwerken gehen mit einem erhöhten Ressourcenverbrauch einher. Gleichzeitig werden Kläranlagenkapazitäten auf Schmutz- und Regenwasser Volumina ausgelegt, was zu einer großen Dimensionierung führt.

### **1.2.1. Optimaler Verfahrenseinsatz**

Grundsätzlich sollten bei der Entwässerungsplanung die Verfahren Anwendung finden, die mit minimalem Energie- und Ressourcenaufwand implementiert werden können und die Funktion optimal erfüllen.

#### **1.2.1.1. Reduzierung des Energieeinsatzes**

Die Implementierung eines Systems zur Regenwasserentsorgung erfordert einen erheblichen Energieeinsatz. Innerhalb der verschiedenen Prinzipien der Regenwasserbewirtschaftung und der Ableitung sind daher die Verfahren zu wählen, die eine optimale Funktion gewährleisten, aber mit einem Minimum an einzusetzender Energie eingeführt werden können.

Sehr gut: Zu jedem regional unterschiedlichen Anforderungsprofil bieten sich Verfahren an, die eine optimale Funktionserfüllung garantieren und die unter minimalen Energieeinsatz eingeführt werden können.

Befriedigend: Die Implementierung des Systems zur optimalen Erfüllung der Funktion erfordert mehr Energie als durchschnittlich notwendig.

Mangelhaft: Die Einführung des System kann nur unter erheblichen Energieaufwand erfolgen.

#### **1.2.1.2. Reduzierung des Ressourceneinsatzes**

Auch der Einsatz aller benötigten Ressourcen sollte bei der Einführung des Systems analog zum minimalen Einsatz an Energie so gering wie möglich ausfallen.

Sehr gut: Die Einführung des Systems und eine optimale Funktionserfüllung erfolgen unter minimalem Ressourcenaufwand.

Befriedigend: Die Implementierung des Systems und eine optimale Erfüllung der Funktion erfordert mehr Energie als durchschnittlich notwendig.

Mangelhaft: Die Einführung des System kann nur unter erheblichem Ressourcenaufwand erfolgen.



### 1.2.2. Optimierung der Stoffströme

Jede Nutzung von Energie und Ressourcen ist mit Umweltbelastungen verbunden. Dem Energie- und Ressourcenverbrauch kommen daher erhebliche ökologische Relevanz zu. Von den zunehmenden Rohstoffverknappungen sind vor allem die Reserven fossiler Brennstoffe betroffen. Aus diesem Grund sollte der Verbrauch von Energie und Ressourcen für den Betrieb der Regenwasserentsorgungsverfahren so gering wie möglich ausfallen. Im Idealfall können regional vorhanden Stromgrößen genutzt werden die sonst ressourcen- und energieaufwendig implementiert werden müssten.

#### 1.2.2.1. Minimierung des Energieverbrauchs

Zur Aufrechterhaltung der Funktion des Systems wird ein bestimmter Input an Energie benötigt. Es ist in diesem Zusammenhang von Bedeutung, ob das Verfahren ein energiesparendes Wirtschaften fördert oder ob zur Gewährleistung der Funktion ein kontinuierlich hoher Energieverbrauch notwendig ist.

Sehr gut: Das Verfahren fördert ein energiesparendes Wirtschaften. Die Funktionalität des Systems wird unter geringstem Energieverbrauch gewährleistet.

Befriedigend: Der Betrieb des Systems erfordert einen durchschnittlichen Verbrauch an Energie.

Mangelhaft: Der Betrieb und somit die Aufrechterhaltung der Funktion erfordert extrem viel Energie. Ein energiesparendes Wirtschaften erfolgt nicht.

#### 1.2.2.2. Minimierung des Ressourcenverbrauchs

Analog zum Energieverbrauch werden zum Betrieb eines Systems verschiedene Ressourcen benötigt. Der quantitative und qualitative Umfang der Mittel, die benötigt werden sollte so gering wie möglich ausfallen, um ein ressourcensparendes Wirtschaften zu garantieren.

Sehr gut: Das eingesetzte Verfahren fördert den sparsamen Umgang mit allen benötigten Betriebsmitteln. Der Betrieb des Systems erfordert einen nur sehr geringen Einsatz von Ressourcen.

Befriedigend: Das Verfahren wird unter dem Verbrauch einer durchschnittlichen Menge an Ressourcen betrieben. Ein ressourcensparendes Wirtschaften wird nicht unterstützt aber auch nicht gefördert.

Mangelhaft: Der Betrieb des Systems ist nur unter einem erheblichen Verbrauch von Ressourcen möglich. Ein ressourcensparendes Wirtschaften erfolgt nicht.

#### **1.2.2.3. Nutzung von Stromgrößen**

Die Möglichkeit vorhandene Stromgrößen anhand eines Verfahrens zu verwenden, bietet einerseits den Vorteil der Kostenreduktion, da die genutzte Größe nicht energie- und ressourcenaufwendig implementiert werden muss, andererseits begünstigt der Evolutionsprozess Nutzungsarten bei denen das Verhältnis von Input und Funktionsgewährleistung der Struktur, günstiger ist als bei anderen.

Sehr gut: Das Verfahren kann die regional vorhandenen Stromgrößen in großem Umfang nutzen.

Befriedigend: Das Verfahren kann die vorhandenen Stromgrößen in eingeschränktem Umfang nutzen.

Mangelhaft: Das Verfahren kann keine der vorhandenen Stromgrößen nutzen.

#### **1.2.2.4. Prozesskopplung**

Ein wirtschaftlicher Umgang mit Ressourcen und Energie bedeutet auch, dass alle in der Prozesskette entstehenden Effekte berücksichtigt und nach Möglichkeit genutzt werden. Dies führt zu nahezu geschlossenen Stoffkreisläufen. In dem eingesetzten Verfahren findet dieses Prinzip seine Entsprechung in der Wiederverwertung von Produkten innerhalb des Systems, oder in einer Ankopplung an die Verwertungszyklen der Natur.

Sehr gut: Das Verfahren nutzt Nebenprodukte im Prozessablauf und minimiert auf diese Weise den Ressourcen- und Energiefluss, weil das genutzte Potenzial sonst unter Kostenaufwand substituiert werden müsste.

Befriedigend: Das Verfahren kann die Nebenprodukte und Besonderheiten im Prozessablauf teilweise koppeln.

Mangelhaft: Eine Nutzung und somit Kopplung erfolgt nicht. Einsparungen im Material- und Energiebereich liegen nicht vor.

### 1.2.3. Wartung

Wartung wurde bisher meist als vorbeugende Instandhaltung und Kontrolle aller dem Verschleiß unterworfenen Bereiche eines Systems verstanden. Inzwischen wird in der Praxis jedoch in der Regel von zustandsorientierter Wartung gesprochen. Darunter wird verstanden, dass sich die betroffenen Instandhalter ein Bild des Istzustandes machen und in der Abhängigkeit davon die notwendigen Wartungsarbeiten durchführen. Durch regelmäßige Wartung eines Systems können Funktionsausfälle verringert werden.

Sehr gut: Das System wird regelmäßig gewartet.

Befriedigend: Das System wird in unregelmäßigen Abständen gewartet.

Mangelhaft: Es findet keine Wartung statt.

### 1.2.4. Qualität

Es wird davon ausgegangen, dass eine höhere Qualität erreicht werden kann, wenn eine Qualitätskontrolle integriert ist.

Sehr gut: Die Qualitätskontrolle erfolgt in regelmäßigen Abständen. Dieses geschieht soweit wie möglich unter Zuhilfenahme automatisierter Messmethoden. Fehler werden gegebenenfalls direkt ausgebessert.

Befriedigend: Eine Kontrolle findet regelmäßig nach Abschluss bestimmter Intervalle statt. Die Kontrolle wird von einem im System eingesetzten Mitarbeiter durchgeführt.

Mangelhaft: Eine Kontrolle findet in unregelmäßigen Abständen durch einen Arbeitnehmer statt, der nicht in dem System tätig ist.

### 1.3. Kleinräumigkeit

In der Natur findet man keine großräumigen zentralistischen Strukturen was auf die Nutzung dezentral und großflächig anfallender Systeminputs (Sonnenenergie, Niederschlagswasser, usw.) zurückzuführen ist. Kleinräumigkeit hat darüber hinaus die Vorteile einer flexiblen Anpassung an lokale Besonderheiten und kürzere Transportwege. Kleinräumige Strukturen sind die Voraussetzung für Anpassungsfähigkeit und Effizienz, insofern lokal verschiedene Randbedingungen auf das Ergebnis Einfluss haben.

### 1.3.1. Dezentrale Nutzungsmöglichkeiten.

Großräumig Monostrukturen sind der Natur fremd. Kleinräumige Diversität, enge Austauschbeziehungen und Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Systemen in Form von Symbiosen oder von Wettbewerb sind ökologische Prinzipien, die überall anzutreffen sind und die Ergebnis eines evolutiven Optimierungsprozesses sind. Die Schlussfolgerung, die das Systemmanagement daraus zieht ist die, dass dezentrale Nutzungsmöglichkeiten von Verfahren der Regenwasserentsorgung die Möglichkeit bieten, Prozesse zu koppeln und eine enge Verbindung zur Nachfragerseite, d. h. eine flexible Anpassung an die Dienstleistungsstruktur der lokalen Verhältnisse zu ermöglichen.

Sehr gut: Das Prinzip verfügt über eine Vielzahl unterschiedlicher dezentraler Verfahren mit denen die Funktion erfüllt werden kann.

Befriedigend: Das Prinzip verfügt nur über eingeschränkte Möglichkeiten, dezentrale Verfahren zu verwenden.

Mangelhaft: Das gewählte Prinzip verfügt über keine dezentralen Verfahren um das Regenwasser zu entsorgen. Es kann regionale Potenziale nicht Kosten minimierend aktivieren.

### 1.3.2. Minimierung der Transportwege

Es wird davon ausgegangen, dass das System wirtschaftlicher und sicherer arbeitet, wenn nur wenige Transporte anfallen und die Transportwege gering sind.

Sehr gut: Es sind nur wenige Transporte geringer Wegstrecke notwendig.

Befriedigend: Es sind einige Transporte mittlerer Wegstrecke erforderlich.

Mangelhaft: Es sind überdurchschnittlich viele Transporte auch längerer Wegstrecke notwendig.

### 1.3.3. Regionale Anpassungsfähigkeit

Jede Region unterscheidet sich hinsichtlich der hydrologischen und wasserwirtschaftlichen Situation von ihren Nachbarregionen. Wasser ist daher trotz der globalen Vernetzung der unterschiedlichen Wasserströme als regionale Ressource mit regional unterschiedlichen Besonderheiten anzusehen. Daher sollt jedes Prinzip, das auf die Re-

genwasserentsorgung abzielt über Verfahren verfügen, die aufgrund ihres Nutzenprofils ideal an diese lokalen Besonderheiten angepasst werden können.

Sehr gut: Die Verfahren können an fast alle regionalen Besonderheiten angepasst werden und auf diese Weise Kostensenkungspotenziale nutzen.

Befriedigend: Die Verfahren können nur bedingt an die lokalen Gegebenheiten angepasst werden.

Mangelhaft: Die Verfahren können nicht an alle Umweltprofile angepasst werden.

## **2.1. Wasserbilanz**

Das Prinzip der Eingriffsvermeidung bzw. -minderung gilt auch für die Bewirtschaftung des Regenwassers im Rahmen der Bauleitplanung und für die Beurteilung alternativer Entwässerungslösungen in geplanten oder bereits bebauten Siedlungsgebieten. Ziel ist es die Wasserbilanz des betreffenden Gebietes anhand der implementierten Verfahren weitestgehend nachzubilden und den natürlichen Wasserhaushalt unter den jeweiligen örtlichen Verhältnissen so gering wie möglich zu beeinflussen. Hierbei sind die Komponenten: Verdunstung, Grundwasserneubildung und Abfluss von besonderer Bedeutung.

### **2.1.1. Verdunstung**

Als Maßstab wird die Verdunstungsrate des unbebauten Gebietes herangezogen. Gemäß der Grundsätze des Systemmanagement ist es das Ziel, die Prinzipien des bio-sphärischen Systems möglichst genau nachzubilden.

Sehr gut: Das eingesetzte Verfahren zur Regenwasserentsorgung weist das gleich Verdunstungspotenzial auf wie das Gebiet im unbebauten Zustand.

Befriedigend: Das Verfahren kann die Verdunstungsrate nur teilweise nachbilden.

Mangelhaft: Das Verfahren weist eine Verdunstungsrate auf, die sich von der des unbebauten Zustandes stark unterscheidet.

### 2.1.2. Grundwasserneubildungsrate

Absinkende Grundwasserpegel sind bereits ein erhebliches Problem in urbanen Bereichen. Fast alle Ballungsgebiete verfügen gegenwärtig nicht mehr über ausreichende Trinkwasserreserven, um ihren Bedarf selbst zu decken und müssen ihr Trinkwasser daher aus externen Quellen beziehen. Je positiver ein Verfahren der Regenwasserentsorgung die Grundwasserneubildungsrate beeinflussen kann, desto stärker wird diesem Effekt entgegengewirkt.

Sehr gut: Das Verfahren ist aufgrund seiner Merkmalsausprägungen in der Lage die Neubildung des Grundwassers positiv zu beeinflussen.

Befriedigend: Das Verfahren fördert die Grundwasserneubildung nicht, wirkt ihr aber auch nicht entgegen.

Mangelhaft: Das Verfahren wirkt sich negativ auf die Grundwasserneubildung aus.

### 2.1.3. Abfluss

Der Abfluss des Regenwassers stellt ein Hauptkriterium der Wasserhaushaltsgleichung dar. Er ist ein wichtiger Bestandteil des regionalen Wasserkreislaufs. Als Referenzgröße dient der Abfluss des unbebauten Gebietes.

Sehr gut: Das eingesetzte Verfahren zur Regenwasserentsorgung weist die gleiche Abflussrate auf, wie das Gebiet im unbebauten Zustand.

Befriedigend: Das Verfahren kann die Abflussrate nur teilweise nachbilden.

Mangelhaft: Das Verfahren weist eine Abflussrate auf, die sich von der des unbebauten Zustandes stark unterscheidet.

## 2.2. Hochwasserschutz

Der Schutz vor Hochwasser bewegt sich in dem Spannungsfeld zwischen den Möglichkeiten einer Beeinflussung des Hochwassergeschehens und den Möglichkeiten der Vorsorge zur Schadenminderung. Nur ein Bündel von Maßnahmen, das beiden Strategien folgt, kann die bei den Hochwassern erlebte Schadenssituation verbessern. Einfache Patentrezepte greifen nicht. Hochwasserereignisse haben an Intensität und Häufigkeit zugenommen. Die Versiegelung der Landschaft durch Siedlungs- und Verkehrsflächen wird als eine der Ursachen für das verstärkte Auftreten von Hochwassern an-

gesehen. Das eigentliche Problem ist jedoch nicht die Versiegelung der Fläche an sich, sondern das vollständige und schnelle Ableiten des Regenwassers durch Kanalisation und Gräben

### **2.2.1. Reduzierung der Abflussspitzen**

Für den Hochwasserschutz ist es von großem Interesse, dass die Verfahren der Regenwasserentsorgung aufgrund ihrer Eigenschaften die Abflussspitzen nach Regenernissen in bebauten Gebieten reduzieren können.

Sehr gut: Das Verfahren wirkt sich reduzierend auf die Abflussspitzen aus.

Befriedigend: Das Verfahren wirkt sich weder reduzierend noch erhöhend auf die Abflussspitzen aus.

Mangelhaft: Das Verfahren wirkt sich erhöhend auf die Abflussspitzen aus.

### **2.2.2. Regenwasserrückhalt**

Bei Starkregenereignissen ist es von großer Bedeutung, das Niederschlagswasser zurückzuhalten. Für den Hochwasserschutz und zur Verhinderung von Mischwasserentlastungen in die Vorfluter ist es daher relevant, dass die Verfahren der Regenwasserentsorgung ein vordimensioniertes Volumen an Regenwasser zurückhalten können.

Sehr gut: Das Verfahren kann derart ausgestaltet werden, dass jedes gewünschte Rückhaltevolumen realisiert werden kann.

Befriedigend: Das Verfahren ist kann das geforderte Volumen nur unter zusätzlichen Anpassungen realisieren.

Mangelhaft: Das Verfahren kann das benötigte Volumen nicht oder nur unter erheblichen Veränderungen realisieren.

### **2.3. Vorfluterbelastung**

Bei Mischwassersystemen konventioneller Bauart, das heißt, bei der Ableitung des Schmutzwassers und des gesamten auf den angeschlossenen Flächen anfallenden Regenwassers in einem gemeinsamen Leitungssystem, kommt es bei Starkniederschlägen zwangsläufig zu Entlastungen in die Vorfluter, wenn die Verarbeitungskapazität der Kläranlage und das Speichervolumen des Kanalnetzes erschöpft sind. Dies ist in mehrfacher Hinsicht schädlich für die aufnehmenden Gewässer:

### 2.3.1. Stoffliche Belastung

Durch die Schmutzstoffeinträge der einzelnen Entlastungsereignisse kann es zu akuten Schädigungen der Biozönose (z. B. Fischsterben) kommen (Schmutzstoßbelastung). Durch die Akkumulation der über einen langen Zeitraum eingetragenen Schmutzfrachten kann das Gewässermilieu latent geschädigt werden (Schmutzdauerbelastung).

#### 2.3.1.1. CSB

Als Maßstab für die stoffliche Gewässerbelastung dient der geringste Eintragswert der von einem Verfahren im Rahmen des Variantenvergleichs erzielt worden ist. Dieser Wert wurde mit einer Zwei bewertet. Alle Eintragswerte der anderen Verfahren wurden zu diesem Wert proportional in Beziehung gesetzt.

Sehr gut: Das Verfahren belastet das Gewässer nur sehr schwach mit diesem Stoff.

Befriedigend: Die Gewässerbelastung mit diesem Stoff durch das Verfahren ist als durchschnittlich zu bewerten.

Mangelhaft: Das Verfahren belastet das Gewässer sehr stark mit dem relevanten Stoff.

#### 2.3.1.2. AFS

Als Maßstab für die stoffliche Gewässerbelastung dient der geringste Eintragswert der von einem Verfahren im Rahmen des Variantenvergleichs erzielt worden ist. Dieser Wert wurde mit einer Zwei bewertet. Alle Eintragswerte der anderen Verfahren wurden zu diesem Wert proportional in Beziehung gesetzt.

Sehr gut: Das Verfahren belastet das Gewässer nur sehr schwach mit diesem Stoff.

Befriedigend: Die Gewässerbelastung mit diesem Stoff durch das Verfahren ist als durchschnittlich zu bewerten.

Mangelhaft: Das Verfahren belastet das Gewässer sehr stark mit dem relevanten Stoff.



#### **2.3.1.3. NH<sub>4</sub>-H**

Als Maßstab für die stoffliche Gewässerbelastung dient der geringste Eintragswert der von einem Verfahren im Rahmen des Variantenvergleichs erzielt worden ist. Dieser Wert wurde mit einer Zwei bewertet. Alle Eintragswerte der anderen Verfahren wurden zu diesem Wert proportional in Beziehung gesetzt.

Sehr gut: Das Verfahren belastet das Gewässer nur sehr schwach mit diesem Stoff.

Befriedigend: Die Gewässerbelastung mit diesem Stoff durch das Verfahren ist als durchschnittlich zu bewerten.

Mangelhaft: Das Verfahren belastet das Gewässer sehr stark mit dem relevanten Stoff.

#### **2.3.1.4. BSB**

Als Maßstab für die stoffliche Gewässerbelastung dient der geringste Eintragswert der von einem Verfahren im Rahmen des Variantenvergleichs erzielt worden ist. Dieser Wert wurde mit einer Zwei bewertet. Alle Eintragswerte der anderen Verfahren wurden zu diesem Wert proportional in Beziehung gesetzt.

Sehr gut: Das Verfahren belastet das Gewässer nur sehr schwach mit diesem Stoff.

Befriedigend: Die Gewässerbelastung mit diesem Stoff durch das Verfahren ist als durchschnittlich zu bewerten.

Mangelhaft: Das Verfahren belastet das Gewässer sehr stark mit dem relevanten Stoff.

#### **2.3.1.5. Stickstoff**

Als Maßstab für die stoffliche Gewässerbelastung dient der geringste Eintragswert der von einem Verfahren im Rahmen des Variantenvergleichs erzielt worden ist. Dieser Wert wurde mit einer Zwei bewertet. Alle Eintragswerte der anderen Verfahren wurden zu diesem Wert proportional in Beziehung gesetzt.

Sehr gut: Das Verfahren belastet das Gewässer nur sehr schwach mit diesem Stoff.

Befriedigend: Die Gewässerbelastung mit diesem Stoff durch das Verfahren ist als durchschnittlich zu bewerten.

Mangelhaft: Das Verfahren belastet das Gewässer sehr stark mit dem relevanten Stoff.

### 2.3.1.6. Phosphor

Als Maßstab für die stoffliche Gewässerbelastung dient der geringste Eintragswert der von einem Verfahren im Rahmen des Variantenvergleichs erzielt worden ist. Dieser Wert wurde mit einer Zwei bewertet. Alle Eintragswerte der anderen Verfahren wurden zu diesem Wert proportional in Beziehung gesetzt.

Sehr gut: Das Verfahren belastet das Gewässer nur sehr schwach mit diesem Stoff.

Befriedigend: Die Gewässerbelastung mit diesem Stoff durch das Verfahren ist als durchschnittlich zu bewerten.

Mangelhaft: Das Verfahren belastet das Gewässer sehr stark mit dem relevanten Stoff.

### 2.3.2. Hydraulischer Stress

Insbesondere bei kleinen, leistungsschwachen Gewässern kann es zu hydraulischen Belastungen kommen, durch die das Gewässerbett erodiert und die Biozönose geschädigt wird („Hydraulischer Stress“). Weiterhin kann es zur Remobilisierung von Schadstoffen kommen, die im Sediment akkumuliert worden sind.

#### 2.3.2.1. Spitzenabfluss HQ 1

Als Maßstab für die hydraulische Gewässerbelastung dient der niedrigste Spitzenabfluss der von einem Verfahren im Rahmen des Variantenvergleichs erzielt worden ist. Dieser Wert wurde mit einer Zwei bewertet. Alle Abflusswerte der anderen Verfahren wurden zu diesem Wert proportional in Beziehung gesetzt.

Sehr gut: Das Verfahren gewährleistet sehr niedrige Spitzenabflüsse.

Befriedigend: Das Verfahren gewährleistet Spitzenabflüsse durchschnittlicher Höhe.

Mangelhaft: Das Verfahren gewährleistet sehr hohe Spitzenabflüsse.

#### 2.3.2.2. Spitzenabfluss HQ 20

Als Maßstab für die hydraulische Gewässerbelastung dient der niedrigste Spitzenabfluss der von einem Verfahren im Rahmen des Variantenvergleichs erzielt worden ist. Dieser Wert wurde mit einer Zwei bewertet. Alle Abflusswerte der anderen Verfahren wurden zu diesem Wert proportional in Beziehung gesetzt.

Sehr gut: Das Verfahren gewährleistet sehr niedrige Spitzenabflüsse.

Befriedigend: Das Verfahren gewährleistet Spitzenabflüsse durchschnittlicher Höhe.

Mangelhaft: Das Verfahren gewährleistet sehr hohe Spitzenabflüsse.

#### **2.3.2.3. Spitzenabfluss HQ 50**

Als Maßstab für die hydraulische Gewässerbelastung dient der niedrigste Spitzenabfluss der von einem Verfahren im Rahmen des Variantenvergleichs erzielt worden ist. Dieser Wert wurde mit einer Zwei bewertet. Alle Abflusswerte der anderen Verfahren wurden zu diesem Wert proportional in Beziehung gesetzt.

Sehr gut: Das Verfahren gewährleistet sehr niedrige Spitzenabflüsse.

Befriedigend: Das Verfahren gewährleistet Spitzenabflüsse durchschnittlicher Höhe.

Mangelhaft: Das Verfahren gewährleistet sehr hohe Spitzenabflüsse.

### **2.4. Bauökologie**

Umweltrelevante Maßnahmen spielen nicht nur im betrieblichen Alltag, sondern auch bei Baumaßnahmen eine wichtige Rolle. Jedes Bauwerk bedeutet einen umweltschädlichen Eingriff in die Natur. Bauökologische Kriterien sind vor allem die Verwendung von ökologischen Baustoffen, sowie ein umweltbewusster Umgang mit der Bebauungsfläche.

#### **2.4.1. Baustoffe**

Das Bauen verursacht einen hohen Rohstoff- und Materialverbrauch. Es sollten daher wiederverwertbare Baustoffe verwendet werden, da sonst nach der Nutzung des Systems eine erhebliche Abfallmenge entsteht. Zur Gewährleistung der Wiederverwertbarkeit bzw. der umweltschonenden Beseitigung der Baustoffe sollte ein Rückbaukonzept erstellt werden. Der Verwendung von ökologischen Baustoffen kommt zur Reduzierung der Abfallmenge und zum Schutz der Umwelt eine wichtige Bedeutung zu.

Sehr gut: Zum Bau der Entsorgungsinfrastruktur sind nur ökologische Baustoffe verwendet worden. Ein Rückbaukonzept ist erstellt worden.

Befriedigend: Zum Bau des Systems sind zum Teil ökologische Baustoffe verwendet worden. Ein Rückbaukonzept ist für den größten Teil des Systems erstellt worden.

Mangelhaft: Zum Bau der Anlage sind keine ökologischen Baustoffe verwendet worden. Ein Rückbaukonzept ist nicht erstellt worden.

#### **2.4.2. Flächenversiegelung**

Der umweltbewusste Umgang mit Flächen ist ein weiteres wichtiges ökologisches Kriterium. Jede Versiegelung bedeutet einen umweltschädigenden Eingriff in die Natur.

Sehr gut: Bei der Implementierung des Verfahrens wurden alle Maßnahmen zur Minimierung des Flächenbedarfs berücksichtigt. Das Verfahren fördert die Entsiegelung von Flächen.

Befriedigend: Bei der Implementierung des Systems wurden nur teilweise Maßnahmen zur Minimierung des Flächenbedarfs berücksichtigt. Das Verfahren fördert nicht die Entsiegelung, behindert sie jedoch auch nicht.

Mangelhaft: Bei der Einführung des Verfahrens zur Regenwasserentsorgung wurden keine Maßnahmen zur Minimierung des Flächenbedarfs berücksichtigt. Das Verfahren fördert die Versiegelung von Flächen.

### **2.5. Prozesssicherheit**

Immer wieder entstehen durch Störfälle erhebliche Umweltschäden. Die Bevölkerung und die Umwelt sind dabei nicht selten erheblichen gesundheitlichen Risiken ausgesetzt. Die Sicherheit hängt vor allem von der eingesetzten Technik und einem gut geführten Risikomanagement ab.

#### **2.5.1. Sicherheitstechnik**

Neben organisatorischen Maßnahmen hängt die Sicherheit eines Systems vor allem von der verwendeten Technik ab. Grundsätzlich werden technische Verfahren angestrebt, bei denen von vornherein keine Gefährdung für die Bevölkerung und die Umwelt besteht.

Sehr gut: Es wird nur sichere Technik verwendet.

Befriedigend: Es wird hauptsächlich das Prinzip des beschränkten Versagens angewandt.

Mangelhaft: Die Sicherheit des Systems ist in einigen Bereichen nicht endgültig einschätzbar.

### **2.5.2. Risikomanagement**

Mit einem Risikomanagement werden die Risikoursachen sowie deren Auswirkungen auf die Umwelt berücksichtigt. Das Störfallrisiko kann durch Einbeziehung von Risiken in den Planungsprozess, sowie anhand von Störfallplänen und fest verankerten Verantwortlichkeiten im Sicherheitsbereich minimiert werden.

Sehr gut: Ein betriebliches Risikomanagement ist vorhanden. Mögliche Risiken sind abgedeckt.

Befriedigend: Ein betriebliches Risikomanagement ist vorhanden. Mögliche Risiken sind größtenteils abgedeckt.

Mangelhaft: Ein betriebliches Risikomanagement ist nicht vorhanden.

### **2.6. Stoffgefährdungspotenzial**

Umweltbelastungen durch Stoffe entstehen dadurch, dass natürlich nicht vorkommende Stoffe in die Umwelt eingebracht werden oder aber die lokale oder zeitliche Konzentration natürlich vorkommender Stoffe verändert wird.

#### **2.6.1. Stoffeinsatz**

Durch den Einsatz schädlicher Stoffe in der Produktion können erhebliche Gefährdungen für die Umwelt ausgehen. Je schädlicher die eingesetzten Stoffe sind, umso schädlichere Stoffrückstände werden entstehen.

Sehr gut: Es werden keine gefährdenden Stoffe oder gefährlichen Stoffe eingesetzt.

Befriedigend: Es werden keine gefährlichen Stoffe verwendet.

Mangelhaft: Es werden gefährliche Stoffe verwendet.

#### **2.6.2. Stoffvermeidung**

Jeder Verbrauch von Stoffen ist gleichbedeutend mit Umweltbelastungen. Vor allem durch zu entsorgende Stoffrückstände entstehen Belastungen für die Umwelt. Die Reduzierung von Stoffrückständen stellt somit ein wichtiges Kriterium für den Erhalt der Umwelt dar. Je weniger Rückstände entstehen, desto geringer ist die Menge der verwertungs- und beseitigungsbedürftigen Stoffe. Abbaubare Roh- Hilfs- und Betriebsstof-

fe lassen langfristig keine oder nur sehr geringe Mengen an Stoffrückständen entstehen.

Sehr gut: Die zugeführten Wertstoffe gehen fast vollständig in den Prozess ein. Die zugeführten Roh- Hilfs- und Betriebsstoffe sind ökologisch abbaubar.

Befriedigend: Die beim Prozess zugeführten Wertstoffe werden zum größten Teil im Prozess genutzt. Die zugeführten Roh- Hilfs- und Betriebsstoffe sind zum Teil ökologisch abbaubar.

Mangelhaft: Die dem Prozess zugeführten Wertstoffe werden nur zum Teil genutzt. Die zugeführten Roh- Hilfs- und Betriebsstoffe sind zum größten Teil nicht ökologisch abbaubar.

### **2.6.3. Stoffbeseitigung**

Stoffe die nicht verwertet werden können, werden zu Abfällen. Abfälle werden auf absehbare Zeit Altlasten darstellen. Die Beseitigung von Stoffen stellt aus ökologischer Sicht ein wichtiges Kriterium im Umweltschutz dar. Es ist daher wichtig, dass die Abfallstoffe in klarer Trennung und konzentriert vorliegen, so dass sie von externen Entsorgungsträgern eingesammelt und befördert werden können.

Sehr gut: Die Abfälle liegen in klarer Trennung und konzentriert vor. Eine umweltschonende Entsorgung ist durch einen Entsorgungsnachweis sichergestellt.

Befriedigend: Die Abfälle liegen in klarer Trennung und konzentriert vor. Eine umweltschonende Entsorgung ist nur teilweise durch einen Entsorgungsnachweis sichergestellt.

Mangelhaft: Die Abfälle liegen nur teilweise in klarer Trennung und konzentriert vor. Ein Entsorgungsnachweis liegt nicht vor.

### **2.6.4. Emissionsminderung**

Emissionen tragen erheblich zu Umweltbelastungen bei. Zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge ist das Bundesemissionsschutzgesetz erlassen worden.

Sehr gut: Bei der Herstellung des Verfahrens zur Regenwasserentsorgung werden nur emissionsarme Verfahren eingesetzt.

Befriedigend: Es werden zum größten Teil emissionsarme Verfahren eingesetzt.

Mangelhaft: Es werden nur emissionsreiche Verfahren eingesetzt.

## **2.7. Mikroklima**

Das Mikroklima wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Es besteht eine passive und aktive Wechselbeziehung zwischen Klima und Vegetation, die sehr vielgestaltig ist. Einerseits passt sich die Pflanze dem örtlichen Klima an und ist in ihrem Wachstum von den Witterungsbedingungen abhängig, andererseits wirkt sie auf das Klima ein und verändert es. Art und Ausbildung der Pflanzenbestände beeinflussen entscheidend die klimatischen Auswirkungen. Je nach Dichte, Artenwahl, Anordnung, Geländeausformung, Bodenbeschaffenheit und Wasserhaushalt können spezifische Klima-Effekte geschaffen werden, die gezielt städtisches Klima verbessern können. Zum effektiven Klimaaustausch mit der bebauten Umgebung ist ein größeres Netz von Vegetationsflächen nötig, um einseitige Belastungen, vor allem auch der Pflanzungen, zu vermeiden. Dabei sind viele Einzelflächen im Verbund sinnvoller als nur eine große zusammenhängende, da der Wärme- und Feuchtigkeitsaustausch in den Randzonen stattfindet.

### **2.7.1. Erhalt von Feuchtgebieten/Biotopen**

In Feuchtgebieten vollzieht sich regelmäßig und in hohem Ausmaße eine Reihe von Prozessen, die sich insgesamt für das menschliche Wohlergehen, die Natur und den Erhalt der Umweltqualität günstig auswirken. Die besonderen zeitlichen und räumlichen Muster des Wasserhaushalts sowie andere besondere Merkmale von Feuchtgebieten, etwa charakteristische Pflanzen- und Tiergemeinschaften, aktiv Biomasse akkumulierende Ökosysteme und das Angebot jahreszeitlich bedingter Laichplätze für Fische machen in ihrer Gesamtheit die Einzigartigkeit der Feuchtgebiete ebenso verständlich wie ihren möglichen Nutzen im Hinblick auf die Verbesserung der Wasserqualität, die Regulierung des Gewässersystems, die Unterstützung von Nahrungsnetzen und den Erhalt bedeutender ökologischer und kultureller Werte.

Sehr gut: Das System gewährleistet, sowohl die Grundwasserneubildung, als auch die Wasserführung des vorhandenen biosphärischen Systems. Es leistet einen wichtigen Beitrag zum ökologisch orientierten Erhalt von Feuchtgebieten.

Befriedigend: Das System wirkt sich nur zum Teil positiv auf die Wasserführung des biosphärischen Systems aus. Es leistet einen durchschnittlichen Beitrag zum ökologisch orientierten Erhalt von Feuchtgebieten.

Mangelhaft: Das System wirkt sich negativ auf die Wasserführung des biosphärischen Systems aus. Es leistet keinen Beitrag zum ökologisch orientierten Erhalt von Feuchtgebieten.

### **2.7.2. Erhalt des natürlichen Kleinklimas**

Das urbane Klima wird durch die Vegetation beeinflusst. Je raumgreifender, also je höher und differenzierter die Vegetation ist, desto gemäßigter bildet sich ihr Innenklima im Tages- und Jahresverlauf aus. Boden, Keimlinge und Jungpflanzen werden geschützt, da sich die Temperaturextreme zum Boden hin immer mehr ausgleichen. Die eingestrahlte Sonnenenergie wird durch Mehrfachreflexion und -absorption auf verschiedenen Ebenen effektiv genutzt, und nur ein geringer Teil geht durch Reflexion in die Atmosphäre verloren. Der ständige Lichtwechsel zwischen Hell und Dunkel, der nur in hohen Beständen ausgeprägt ist, regt die Lebensprozesse an. Grünflächen zeigen tagsüber zum Teil erheblich tiefere Temperaturen als bebaute Gebiete. Das ist wesentlich auf den hohen Wärmebedarf für Transpiration und Oberflächenverdunstung zurückzuführen.

Sehr gut: Das Verfahren der Regenwasserentsorgung begünstigt die regionale Vegetation und somit das urbane Mikroklima.

Befriedigend: Das Verfahren begünstigt die lokale Vegetation nicht, schadet ihr jedoch auch nicht.

Mangelhaft: Das Verfahren wirkt sich negativ auf die lokale Vegetation und somit das urbane Kleinklima aus.

## **3. Soziologie**

Die soziologischen Wertekategorien entsprechen den Wertekategorien des Wissenschaftlichen Beirates Globale Umweltveränderungen (WBGU) und ihren Anwendungsbereich in der Biosphäre.



### 3.1. Nutzwert

Hier findet der Beitrag Berücksichtigung, den das implementierte System zur Regenwasserentsorgung für die Produktions- und Konsumzwecke der Gesellschaft leistet. Nahrung, Biomasse, Gesundheit und Erholung sind einige der Anwendungsbereiche, die den Nutzwert bestimmen.

Sehr gut: Das Verfahren erhöht den gesellschaftlichen Nutzwert.

Befriedigend: Das Verfahren erhöht den gesellschaftlichen Nutzwert nicht, vermindert ihn aber auch nicht.

Mangelhaft: Durch die Auswirkungen des Verfahrens wird der gesellschaftliche Nutzwert des biosphärischen Systems gesenkt.

### 3.2. Symbolwert

Hier findet der Beitrag Berücksichtigung, den das implementierte System zur Regenwasserentsorgung für die Symbolwerte (spirituelle/religiöse Werte) der Gesellschaft leistet. Als heilig angesehene Objekte wie Bäume/Flüsse sind Anwendungsbereiche für den Symbolwert in der Biosphäre.

Sehr gut: Das Verfahren erhöht den gesellschaftlichen Symbolwert.

Befriedigend: Das Verfahren erhöht den gesellschaftlichen Symbolwert nicht, vermindert ihn aber auch nicht.

Mangelhaft: Durch die Auswirkungen des Verfahrens wird der gesellschaftliche Symbolwert des biosphärischen Systems gesenkt.

### 3.3. Funktionswert

Hier findet der Beitrag Berücksichtigung, den das implementierte System zur Regenwasserentsorgung für die Funktionalität des biosphärischen Systems leistet. Flutkontrolle, Funktionen in biochemischen Kreisläufen, Schutz von Wasserressourcen, Schadstofffilter sind einige der Anwendungsbereiche, die den Funktionswert in der Biosphäre bestimmen.

Sehr gut: Das Verfahren erhöht den funktionalen Nutzen des Biosystems.

Befriedigend: Das Verfahren erhöht den funktionalen Nutzen des Biosystems nicht , vermindert ihn aber auch nicht.

Mangelhaft: Durch die Auswirkungen des Verfahrens wird der funktionale Nutzen des biosphärischen Systems gesenkt.

### **3.4. Optionswert**

Hier findet der Beitrag Berücksichtigung, den das implementierte System zur Regenwasserentsorgung für die zukünftige potenzielle Nutzung von direkten und indirekten Werten leistet. Die Nutzung des Genpotenzials ist z.B. ein Anwendungsbereich für den Optionswert in der Biosphäre.

Sehr gut: Das Verfahren erhöht den Optionswert des Biosystems.

Befriedigend: Das Verfahren erhöht den Optionswert des Biosystems nicht , vermindert ihn aber auch nicht.

Mangelhaft: Durch die Auswirkungen des Verfahren wird der Optionswert des biosphärischen Systems gesenkt.

### **3.5. Existenzwert**

Hier findet der Beitrag Berücksichtigung, den das implementierte System zur Regenwasserentsorgung für den Existenzwert des biosphärischen Systems leistet. Naturlandschaften die z.B. aus ästhetischen Gründen ohne direktes Erleben einen Nutzen stiften fallen in den Anwendungsbereich von Existenzwerten.

Sehr gut: Das Verfahren erhöht den Existenzwert des Biosystems.

Befriedigend: Das Verfahren erhöht den Existenzwert des Biosystems nicht , vermindert ihn aber auch nicht.

Mangelhaft: Durch die Auswirkungen des Verfahren wird der Existenzwert des biosphärischen Systems gesenkt.