

## Texte 12/02

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES BUNDESMINISTERIUMS FÜR  
UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT  
Forschungsbericht 299 21 289  
UBA-FB 000221

# **Kosten-Wirksamkeitsanalyse von nachhaltigen Maßnahmen im Gewässerschutz - Kurzfassung**

von

**Eberhard Böhm, Thomas Hillenbrand, Joachim Liebert, Joachim Schleich,  
Rainer Walz**

Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe

### **Kurzfassung**

Trotz der in den letzten zwanzig Jahren erzielten Erfolge im Gewässerschutz ist insbesondere unter Vorsorgeaspekten weiterer Handlungsbedarf offensichtlich. Im Hinblick auf international vereinbarte Zielvorgaben und aufgrund der Anforderungen der Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union sind vor allem Anstrengungen zur Verbesserung der Gewässergüte (Reduktion der Einträge von Nährstoffen und gefährlichen Stoffen) sowie zur Verbesserung der Strukturgüte der Gewässer erforderlich.

Ein effizientes Vorgehen mit dem Ziel eines nachhaltigen Gewässerschutzes in Deutschland erfordert die Erarbeitung eines Maßnahmenplans, der die einzelnen Maßnahmen zum Erreichen der Zielsetzungen im Gewässerschutz aufeinander abstimmt und Handlungsschwerpunkte ausweist. Ein **sektoraler Maßnahmenplan für die Wasserwirtschaft** würde der Vorgehensweise entsprechen, die für den Bereich Klimaschutz mit der Entwicklung eines geeigneten Maßnahmenplans bereits realisiert wurde. Vor diesem Hintergrund wurde in einem früheren Vorhaben im Auftrag des Umweltbundesamtes als Ausgangsbasis für die weitere fachliche und politische Diskussion ein "Maßnahmenplan Nachhaltige Wasserwirtschaft" (UBA-Texte 25/99) erarbeitet, der für unterschiedliche Handlungsfelder des Gewässerschutzes über siebzig mögliche Maßnahmen ermittelt und nach einem einheitlichen Schema beschrieben und charakterisiert hat. Zielsetzung dieses Maßnahmenplans

war es, die ausgewählten Maßnahmenvorschläge in weiteren Schritten in der Fachöffentlichkeit zu diskutieren, sie zu detaillieren und weiterzuentwickeln, um daraus schließlich in der politischen Diskussion Prioritäten für einen Maßnahmenplan ableiten zu können.

Bei der **Priorisierung unterschiedlicher Maßnahmen** ist die Minimierung der hierfür erforderlichen Kosten beziehungsweise die Maximierung der positiven Umweltwirkungen mit einem festgelegten Budget ein sehr wesentliches Element. Die Arbeiten am "Maßnahmenplan Nachhaltige Wasserwirtschaft" machten aber deutlich, dass in einzelnen Handlungsfeldern erhebliche methodische Probleme bestehen, die Umweltwirkungen einzelner Maßnahmen zu quantifizieren. Außerdem zeigte sich, dass für die Abschätzung der Kosten unterschiedlicher Maßnahmen vielfach nur unzureichende und teilweise auch widersprüchliche Informationen vorlagen, die im Rahmen des früheren Vorhabens nicht systematisch aufgearbeitet und eingeordnet werden konnten. Daher hat das Umweltbundesamt das Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung mit diesem Folgevorhaben beauftragt, in dem für besonders wichtige Zielbereiche des Gewässerschutzes die **methodische Basis für die Abschätzung von kurz- bis mittelfristigen Umweltwirkungen** verbessert sowie die **aktuellen Ergebnisse** von Untersuchungen **zu den Kosten und Wirkungen aufgearbeitet** und mit Experten für diese Themenbereiche diskutiert und abgeglichen werden sollten. Obwohl dieses Vorhaben mögliche Maßnahmen auf nationaler Ebene zum Untersuchungsgegenstand hat, sollte auch die prinzipielle Verwendbarkeit von Daten und Methoden für das Erarbeiten von Maßnahmenplänen auf Flussgebietsebene im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie der EU berücksichtigt werden.

Zur Bewertung umweltpolitischer Maßnahmen werden national und international insbesondere die Bewertungsansätze Kosten-Nutzenanalyse, Kosten-Wirksamkeitsanalyse sowie die Nutzwertanalyse thematisiert. Im methodischen Einführungskapitel werden diese Ansätze im Hinblick auf ihre Anwendbarkeit im Gewässerschutz sowie grundlegende Probleme und Anforderungen bei der Erfassung und Quantifizierung von Kosten diskutiert. **Kosten-Nutzenanalysen** stellen hohe Anforderungen an die Verfügbarkeit und Qualität der Daten, wobei insbesondere der Nutzen, d. h. die **Umweltentlastung einer Maßnahme in Geldeinheiten** angegeben werden muss. Hierbei bestehen erhebliche methodische Probleme insbesondere aufgrund naturwissenschaftlicher Wissensgrenzen bei den Dosis-Wirkungs-Beziehungen bei Langzeiteffekten, bezüglich der Regenerationsfähigkeit der Umwelt oder im Hinblick auf die Eintrittswahrscheinlichkeit von Ereignissen. Zudem müssen bei den Ansätzen zur monetären Bewertung ethische Grundentscheidungen (z. B. bezüglich der Bewertung von Menschenleben) getroffen werden, die dazu führen können, dass sich die Ergebnisse entsprechender Monetarisierungen um Größenordnungen unterscheiden. Die Methode stellt zwar ein geschlossenes, umfassendes Konzept dar, die Operationalisierung ist aber in Feldern mit komplexen Wirkungsketten äußerst schwierig.

Methodisch einfacher zu handhaben ist die **Kosten-Wirksamkeitsanalyse**, da die Abschätzung der Wirkung einer Maßnahme (Umweltbelastung) nicht in Geldeinheiten vorgenommen werden muss. Die **monetären Kosten** werden dabei in Beziehung zu **nicht monetär bewerteten Maßnahmen** gesetzt. Im Falle von Stoffeinträgen in die Gewässer sind dies physikalische Einheiten (vermiedene Einträge von Nährstoffen oder gefährlichen Stoffen in kg). Für den Fall der nichtmonetären Bewertung einer Verbesserung der Gewässerstrukturgüte musste hingegen erst ein Bewertungsansatz entwickelt werden (vgl. die Ausführungen weiter unten). Kosten-Wirksamkeitsanalysen setzen allerdings die **Festlegung von Zielvorgaben** voraus, d. h. die möglichen Maßnahmen werden im Hinblick auf das Erreichen eines exogen vorgegebenen Ziels verglichen (maximale Verbesserung in Richtung eines vorgegebenen Ziels mit den eingesetzten Mitteln oder Erreichen des Umweltziels mit minimalem Mitteleinsatz). Die Zielvorgabe kann durch ökologische Notwendigkeiten festgelegt werden oder das Ergebnis politischer Prozesse, nationaler Gesetzgebung oder internationaler Abkommen sein. In den in dem Vorhaben behandelten wichtigen Bereichen des Gewässerschutzes existieren entsprechende Zielvorgaben, so dass die Kosten-Wirksamkeitsanalyse als Methode zum Maßnahmenvergleich innerhalb der unterschiedlichen Zielbereiche des Gewässerschutzes eingesetzt werden kann. Ein Vergleich von Maßnahmen für unterschiedliche Zielbereiche ist hiermit allerdings nicht möglich.

Im Unterschied zur Kosten-Nutzenanalyse stellt die **Nutzwertanalyse** ein nicht-monetäres Bewertungsverfahren zur Lösung eines **multikriteriellen Entscheidungsproblems** dar. Die klassische Nutzwertanalyse dient der Anordnung einer endlichen Anzahl multikriteriell zu beurteilender Alternativen, d. h. mit ihrer Hilfe lassen sich alternative Maßnahmen bezüglich verschiedener Kriterien mit unterschiedlichen Dimensionen miteinander vergleichen. In diesem Projekt wurde die Nutzwertanalyse im Rahmen der Methode zur Bewertung der Verbesserung der Gewässerstrukturgüte verwendet und im Bericht sowie im Anhang ausführlich erläutert.

Da bei den meisten Bewertungsverfahren den Kosten eine wichtige Bedeutung zukommt, werden in einem gesonderten Abschnitt des Einleitungskapitels die grundsätzlichen Probleme und Unsicherheiten aufgezeigt, die mit einer **Abschätzung von Kosten** notwendigerweise verbunden sind. In den Ausführungen wird auf die Bedeutung der unterschiedlichen Akteurs- und Analyseebenen für die Kostenbetrachtungen eingegangen (z. B. einzelwirtschaftliche Analysen versus Systemanalyse für einen Sektor). Außerdem werden Probleme der Erfassung von Kosten, deren Abgrenzung und Zuordnung sowie Randbedingungen des verwendeten Kostenrechnungsverfahrens diskutiert und daraus Schlussfolgerungen für die nachfolgenden Kosten-Wirksamkeitsanalysen abgeleitet. Um die Unsicherheiten bei den Kostenabschätzungen und die Bedeutung der jeweiligen Randbedingungen aufzuzeigen,

sollten **jeweils Bandbreiten der Kosten** und damit auch der ermittelten Kosten-Wirksamkeiten angegeben werden.

Als besonders wichtige Handlungsfelder im Gewässerschutz wurden die **Schwerpunkte Siedlungsentwässerung, Landwirtschaft und Gewässerstrukturverbesserungen** für die Kosten-Wirksamkeitsanalysen ausgewählt. Ein sehr wichtiger methodischer Inhalt der Arbeiten war die Entwicklung einer Vorgehensweise zur Durchführung von Kosten-Wirksamkeitsanalysen im Bereich der Gewässerstruktur. Aufbauend auf der inzwischen etablierten **Klassifikation der Gewässerstrukturgüte** nach dem LAWA-Verfahren wurde der Weg verfolgt, die unterschiedlichen Teilwirkungen (verschiedene Strukturelemente zur Beurteilung der Gewässerstrukturgüte) mit einem nutzwertanalytischen Ansatz zusammenzufassen. Auf diesem Wege wird eine Größe für die Gesamtwirkung von Maßnahmen generiert, die in Relation zu den Kosten gesetzt werden kann. Ausgangspunkt war eine Analyse **typischer Defizite bei der Gewässerstrukturgüte**, für die auf der Grundlage der naturraumtypischen Verhältnisse **geeignete Renaturierungsansätze** ermittelt und in typischen Szenarien charakterisiert wurden. Diese Szenarien beinhalten auch die in diesen Fällen üblichen Maßnahmen sowie Angaben zu den zu erwartenden Wirkungen, gestaffelt nach unterschiedlichen Entwicklungszeiträumen. Im Anhang zum Bericht sind die Szenarien ausführlich erläutert.

Die **Erprobung dieses methodischen Ansatzes** anhand konkreter Daten, die in einem Ergänzungsvorhaben für das Land Hessen aufgearbeitet wurden, hat gezeigt, dass hiermit ein praktikabler Weg geschaffen wurde, um für den Bereich Gewässerstrukturverbesserungen Kosten-Wirksamkeitsrelationen zu erstellen. Von den typischen Renaturierungsansätzen zeigen die dynamischen Fälle "Unterstützende Entwicklung des Gewässers" und "Eigendynamische Gewässerentwicklung" die günstigsten Kosten-Wirksamkeitsrelationen. Voraussetzung für eine wirkungsvolle Umsetzung ist die Zuweisung entsprechender Flächen (Gewässerrandstreifen und zusammenhängende Renaturierungsabschnitte) für bettgestaltende Prozesse. Randstreifen weisen außerdem zusätzliche positive Wirkungen in anderen Bereichen (diffuse Stoffeinträge, Hochwasserschutz) auf. In Restriktionsgebieten ohne entsprechende Flächen (z. B. Siedlungsbereiche) lassen sich durch kleinräumige Maßnahmen im Ufer- und Sohlenbereich und durch die Herstellung der Durchgängigkeit im Gewässer eingeschränkte Verbesserungen erreichen. Diese stärker von ingenieurbaulichen Maßnahmen dominierten Ansätze schneiden in der Kosten-Wirksamkeit in der Regel jedoch schlechter ab, können im Hinblick auf den verbesserten Freizeit- und Erholungswert aber trotzdem gerechtfertigt sein.

Ebenfalls untersucht wurden die Möglichkeiten, Kosten-Wirksamkeitsanalysen für den Bereich des **Hochwasserschutzes** durchzuführen. Dabei wurden nur die im Zusammenhang mit einem nachhaltigen Schutz von Fließgewässern relevanten Maßnahmen des natürlichen und dezentralen Hochwasserschutzes einbezogen. Die Untersuchungen zeigten jedoch, dass die Wirkungen dieser Maßnahmen (Wirkung bedeutet hier Verbesserung der Hochwassersicherheit bzw. Vermeidung von

Hochwasserschäden) so stark von einzugsspezifischen Randbedingungen abhängig sind, dass keine allgemeinen Abschätzungen vorgenommen werden können. Hier spielen bspw. Topographie, Hydrogeologie, Vegetation, Besiedlungsdichte und Umfang sonstiger Hochwasserschutzmaßnahmen eine entscheidende Rolle. Auch stehen nur unzureichende Daten zu den Maßnahmenkosten zur Verfügung. Aussagen zur Kosten-Wirksamkeit natürlicher und dezentraler Hochwasserschutz-Maßnahmen können deshalb sinnvollerweise nur für konkrete Projekte erarbeitet werden.

Im Schwerpunkt **Siedlungswasserwirtschaft** wurden Kosten-Wirksamkeitsanalysen für den Bereich kommunale Kläranlagen (Anforderungen zur P-Elimination für kleine Kläranlagen; Einführung von Filtrationstechniken für die Größenklasse 5; Abwasserdesinfektion bei Einleitungen in gefährdete Badegewässer), für den Bereich der Regenwasserbehandlung und Bewirtschaftung (Entsiegelung und Regenwasserversickerung; verbesserte Behandlung des eingeleiteten Misch- bzw. Regenwassers) sowie für den Bereich Kanalinspektion und -sanierung (Verringerung der Fremdwassermengen) durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen zwar ganz erhebliche Bandbreiten, andererseits liegen pro vermiedene Schadenseinheit die Kosten der einzelnen Maßnahmen zum Teil doch um Größenordnungen auseinander. Besonders deutlich ist dabei der Einfluss der für die jeweiligen Maßnahmen bestehenden Randbedingungen. Insgesamt lassen die Ergebnisse jedoch eine Priorisierung der Maßnahmen erkennen, da bei den Maßnahmen zur Versickerung im Misch- oder Trennsystem unter günstigen Bedingungen Einsparungen erzielt werden, die höher als die hierfür aufzuwendenden Kosten sein können, so dass hier die vergleichsweise beste Kosten-Wirksamkeit erreicht wird. Unter ungünstigen Verhältnissen sind diese Maßnahmen jedoch mit hohen Kosten verbunden, die Kosten-Wirksamkeit ist in diesen Fällen dann sehr ungünstig. Ähnlich große Bandbreiten liegen auch bei den Maßnahmen zur Entsiegelung und zur Reduzierung der Fremdwassermenge vor.

Im Bereich der **Landwirtschaft** wurden Politikmaßnahmen untersucht, die ausgehend von unterschiedlichen Ansätzen zum Teil ähnliche Änderungen in den Produktionsweisen bewirken sollen und schon allein aus diesem Grund zu vergleichsweise nahe beieinanderliegenden Kosten-Wirksamkeitsrelationen führen. Behandelt wurden folgende Maßnahmen: Verstärkte Beratung der Landwirte, flächenweite Verschärfung der Düngeverordnung, Bewirtschaftungsauflagen für schützenswerte Flächen, Abgabe auf Stickstoffmineraldünger, Erhöhung der Flächenbindung in der Tierhaltung, verstärkte Umstellung auf ökologische Landwirtschaft. Wichtigstes inhaltliches Ergebnis der Arbeiten im Landwirtschaftsbereich ist es, dass bei der **Verringerung der Stickstoffeinträge** im Vergleich zu möglichen weiteren Maßnahmen im Bereich Siedlungswasserwirtschaft (Stickstoffelimination bei kleineren Kläranlagen; Verfahren der Restdenitrifikation) durchweg eine günstigere Kosten-Wirksamkeit erreicht wird. Die Kosten der günstigen Maßnahmen in der Landwirtschaft liegen sogar unter denjenigen, die bei der Umsetzung der Stickstoffelimination in großen Kläranlagen bereits realisiert wurden (vgl. Abbildung 1). Auch deu-

ten die Ergebnisse darauf hin, dass sich im Landwirtschaftsbereich die Maßnahmen gegenseitig verstärken, so dass ein Maßnahmenbündel die kosteneffizienteste Lösung bilden dürfte.

Bei der **Reduktion der Phosphoreinträge** ist hingegen die Kosten-Wirksamkeit von Maßnahmen im Bereich der Siedlungsentwässerung teilweise deutlich günstiger als in der Landwirtschaft. Dies trifft einerseits für die Versickerung von Niederschlagswasser unter günstigen Randbedingungen zu, bei denen Einsparungen sogar höher als die Kosten ausfallen können. Andererseits gilt dies auch für die Phosphor-Elimination in kleinen Kläranlagen (in die Untersuchung einbezogen wurde hier das Verfahren der Simultanfällung; für die biologischen P-Eliminationsverfahren sind allerdings im Durchschnitt ähnlich günstige Kosten-Wirksamkeiten zu erwarten, jedoch hängt das Ergebnis stärker von den Randbedingungen des Einzelfalls ab). Auch im Landwirtschaftsbereich spielen die spezifischen Bedingungen eines Einzugsgebietes eine wesentliche Rolle, so dass im konkreten Fall unterschiedliche Möglichkeiten genauer untersucht und verglichen werden müssen. Dies gilt insbesondere dann, wenn man die Phosphoreinträge in ein Flussgebiet um einen bestimmten Betrag reduzieren will und Maßnahmen in einem Bereich hierfür nicht ausreichen. Es zeichnet sich jedoch ab, dass Beratungsmaßnahmen unter Umständen eine Kosten-Wirksamkeit ähnlich wie die bei der Phosphorelimination in kleinen Kläranlagen erreichen können. Im Vergleich dazu werden durch die anderen Maßnahmen im Landwirtschaftsbereich, aber auch durch die teureren Maßnahmen der Siedlungsentwässerung wesentlich ungünstigere Kosten-Wirksamkeiten erreicht (Abbildung 2).

Bei der Durchführung der Kosten-Wirksamkeitsabschätzungen bereiten insbesondere "weiche" Maßnahmen wie z. B. eine **Intensivierung der Beratung** (Landwirtschaft, Baubereich) besondere Schwierigkeiten bei der Quantifizierung. Der Grund hierfür liegt zum einen darin, dass die Ausgestaltung der Maßnahmen und die damit verbundenen Kosten in hohem Ausmaß zielgruppenspezifisch sind. Zum anderen müssen bei der Abschätzung der Wirkung unterschiedliche Parameter hinsichtlich des Entscheidungsverhaltens antizipiert werden, wie z. B. Durchdringungsgrade von Informationsangeboten und tatsächliche Verhaltensänderungen aufgrund eines verbesserten Kenntnisstandes. Bei der Abschätzung dieser Parameter besteht einmal das grundsätzliche Problem, dass Prognosen über das menschliche Verhalten prinzipiell unsicher sind. Zudem ist die Wirksamkeit in hohem Ausmaß von einer sorgfältigen Optimierung der Maßnahmen abhängig, so dass zuverlässige Einschätzungen über die Kosten-Wirksamkeit der Maßnahmen eigentlich erst abgeleitet werden können, wenn bereits erste Erfahrungen mit der Maßnahme vorliegen. Hinweise für die konkrete Abschätzung dieser Parameter können sinnvollerweise nur auf Basis von umfangreichen Pilotvorhaben und ihrer systematischen Evaluation erhalten werden.

Die Schwierigkeiten bei der Abschätzung der Kosten-Wirksamkeit weicher Maßnahmen deuten bereits darauf hin, dass **Politikentscheidungen auch andere Faktoren** als Kosten-Wirksamkeitsrelationen **berücksichtigen müssen**. Entsprechende Beispiele sind synergistische Wirkungen, die zwischen einzelnen Maßnahmen bestehen, oder übergreifende Wirkungen von Maßnahmen aus anderen Problemfeldern, die sich in den untersuchten Bereichen auswirken (Zusatznutzen). Auch bereitet die Einbeziehung des technischen Fortschritts bei der Kostenabschätzung gegenwärtig noch erhebliche Probleme. Hier wird es in Zukunft darauf ankommen, Konzepte wie die Entwicklung von Lernkurven auf den Bereich des Gewässerschutzes zu übertragen. Darüber hinaus werden im Zusammenhang mit den Kosten von Maßnahmen immer wieder auch Verteilungsfragen thematisiert, obwohl sie im wissenschaftlichen Sinne ein anderes Kriterium als die Ausrichtung der Politik an Effizienzgesichtspunkten darstellen. Insgesamt wird deutlich, dass Politikentscheidungen nicht schematisch allein auf den Ergebnissen von Kosten-Wirksamkeitsanalysen aufbauen können, sondern weitere Aspekte miteinbeziehen müssen, die sich zum Teil einer Quantifizierung entziehen.

Abbildung 1: Schematischer Überblick über die Kosten-Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verminderung von Stickstoffeinträgen in Gewässer

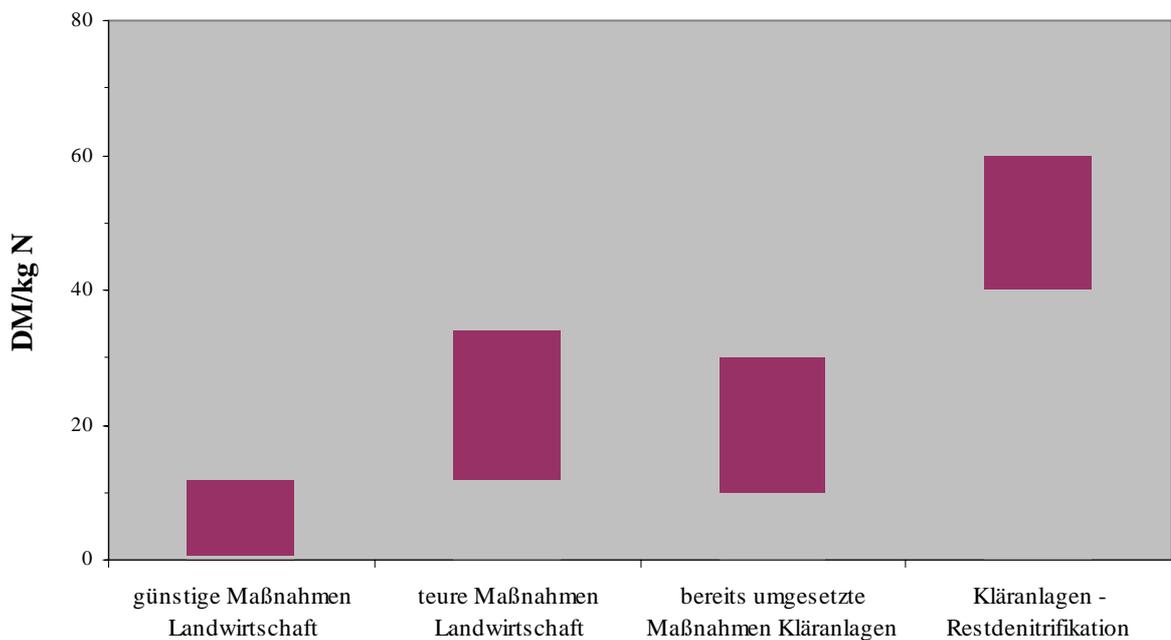
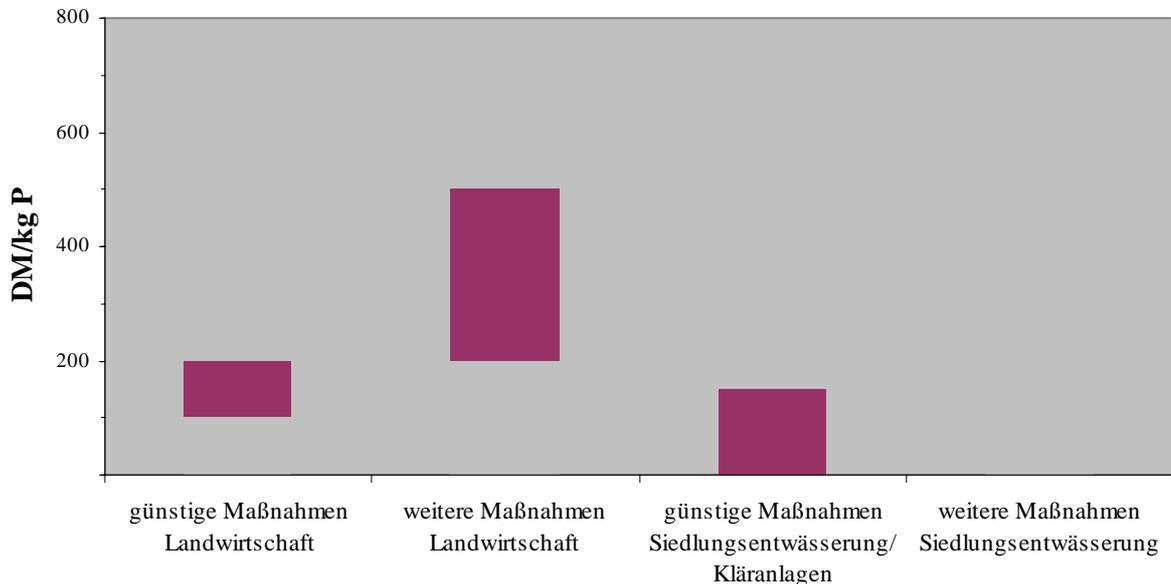


Abbildung 2: Schematischer Überblick über die Kosten-Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verminderung von Phosphoreinträgen in Gewässer



Maßnahmen zur Minderung der Umweltbelastungen wirken häufig auf unterschiedliche Probleme. Besonders ausgeprägt war dies bei den Maßnahmen im Bereich der Siedlungsentwässerung. Hier trägt bspw. ein und dieselbe Maßnahme dazu bei, gleichzeitig die **Einträge mehrerer Schwermetalle** zu vermindern, allerdings in jeweils unterschiedlichen Mengenverhältnissen. Um die Kosten-Wirksamkeit dieser Maßnahmen untereinander vergleichbar zu machen, wurde eine Normierung der Wirkung auf Schwermetall-Äquivalente vorgenommen, die sich an den in den Gewässergüteklassifizierungen vorgegebenen Konzentrationswerten orientierte. Allerdings muss bei derartigen Normierungen darauf geachtet werden, dass eine Orientierung an naturwissenschaftlich abgeleiteten Werten nur zwischen den Schadstoffen möglich ist, die durch vergleichbare Wirkungen gekennzeichnet sind. Sobald unterschiedliche Kategorien von Umweltproblemen betroffen sind (z.B. Abwasserdesinfektion – Eintrag von Schadstoffen), wäre es für eine Vergleichbarkeit der Maßnahmen erforderlich, den Nutzen der vermiedenen Umweltbelastungen zu quantifizieren, was nicht ohne Rückgriff auf die gesellschaftlichen Wertschätzungen der betroffenen Bereiche erfolgen kann.

Die für die drei Schwerpunktbereiche Gewässerstruktur, Siedlungsentwässerung und Landwirtschaft durchgeführten Berechnungen bezogen sich jeweils auf eine aggregierte räumliche Bezugseinheit, für die **typisierte Durchschnittswerte** herangezogen wurden. Zusätzlich wurden soweit möglich Bandbreiten mit angegeben, die zum einen den Einfluss unterschiedlicher Randbedingungen und zum anderen die mit den Daten verbundenen Unsicherheiten berücksichtigen sollen. Für die dar-

aus abgeleiteten Kosten-Wirksamkeitsrelationen ist damit festzuhalten, dass sie nicht ohne weiteres für konkrete Einzelfälle herangezogen werden können. Bei der Umsetzung für ein konkretes Gewässer kommt ihnen damit vor allem die Funktion zu, **Orientierungswerte und erste Größenordnungen** zu signalisieren, die im konkreten Einzelfall jeweils der Überprüfung bedürfen.

Neben dieser – z. B. im Rahmen des Flussgebietsmanagements anfallenden – Orientierungsfunktion kommt den Kosten-Wirksamkeitsrelationen vor allem die Aufgabe zu, wichtige **Informationsgrundlagen für die strategische Ausrichtung der Gewässerschutzpolitik** zu liefern. Die Ergebnisse können als Dateninput für Szenarienrechnungen genutzt werden, die für die Politik sowohl den Grad der Zielerreichung der Umweltziele als auch die damit verbundene Größenordnung der Kosten angeben. Kosten-Wirksamkeitsanalysen stellen damit einen wichtigen Bestandteil einer rationalen Umweltpolitikgestaltung dar, wie sie z. B. vom Rat der Sachverständigen für Umweltfragen (SRU) wiederholt eingefordert wurde.

## **Cost-Effectiveness of Sustainable Measures for Water Protection**

### **Summary**

In spite of the successes achieved over the last twenty years in water protection and management, there is an obvious need for further action, especially with regard to precautionary aspects. In view of internationally agreed targets and due to the requirements of the European Union's Water Framework Directive, efforts are primarily necessary to improve both water quality (reducing emissions of nutrients and hazardous substances) and the quality of its morphological structure.

An efficient method aiming at sustainable water protection and management in Germany involves drawing up an action plan which coordinates the individual measures necessary to achieve the targets in this area and also indicates which actions should be given priority. A **sectoral action plan for water resources management** would comply with the method already put into practise for the field of climate protection. Against this background, in a previous project on behalf of the Federal Environmental Agency, an "Environmental Action Plan for Sustainable Water Resources Management" (UBA-Text 25/99) was developed which identified over seventy possible measures for various fields of action in water protection and management and described and characterised these using a standardized format. The objective of this project was to discuss the selected measures proposed in ex-

pert-circles, to elaborate and develop them in more detail in order to be able to derive political priorities for a plan of action.

When **setting priorities for the different measures**, minimising the costs involved or maximising the positive environmental effects is an essential element when operating with a fixed budget. However, work on the "Action plan for sustainable water resources management" showed that there are considerable methodological problems in quantifying the environmental effects of particular measures in individual fields of action. In addition, it was shown that often only insufficient and, in some cases, even contradictory information was available to estimate the costs of different measures which had not been able to be systematically analysed in the earlier project. For this reason, the Federal Environmental Agency commissioned the Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research with this follow-up project which aims to improve the **methodological basis for estimating** short- to medium-term **environmental effects** for particularly important target areas of water protection and management, to incorporate and adjust **up-to-date results** of examinations of **costs and effects** and to discuss these with experts for this area. Although this project primarily dealt with possible measures at a national level, it also considered the applicability of data and methods for drawing up action plans at the level of river basins in accordance with the EU's Water Framework Directive.

Nationally and internationally, cost-benefit analyses, cost-effectiveness analyses and benefit analyses are the main methods of evaluating environmental policy measures. In the chapter introducing the methods, these approaches are discussed with regard to their applicability to water protection and management as well as the basic problems and requirements involved in compiling and quantifying costs. **Cost-benefit analyses** make great demands on the availability and quality of data. In particular the benefit, i.e. **the reduction of environmental pollution** effected by a measure has to be given **in monetary units**. Considerable methodological problems arise here due to scientific limits on knowledge regarding dosage-effect relationships for long-term effects, with regard to environmental regenerability or the probability of certain events taking place. In addition, fundamental ethical decisions have to be made in those approaches using monetary evaluation (e.g. with regard to the value of a statistical life) which may mean the results of the corresponding monetisation vary by several orders of magnitude. The method is indeed a complete, comprehensive concept, but putting it into operation is extremely difficult in fields with complex chains of effects.

**Cost-effectiveness analyses** are much easier to use since estimating the effect of a measure (environmental burden) does not have to be made in monetary units. The **monetary costs** are related to **measures valued in non-monetary terms**. In the case of substance emissions into water, these are physical units (avoided emissions of nutrients or hazardous substances in kg). Conversely, when evaluating an improvement to the morphological structure of water quality in non-monetary terms, a

valuation method still had to be developed (see the comments below). Cost-effectiveness analyses do however assume that **environmental targets** have been set, i.e. the measures are compared with an exogenously given target (maximum improvement towards a given target with the funds available, or the achievement of an environmental target with minimum use of funds). The target may be fixed by ecological necessity or be the result of political processes, national law or international agreements. Such targets already exist in the important areas of water protection and management dealt with in the project so that cost-effectiveness analysis can be used as a method to compare measures within the different areas of water protection. However, a comparison of measures for different areas is not possible using this approach.

In contrast to cost-benefit analyses, **benefit analysis** is a non-monetary valuation process to find a solution to a **multi-criteria decision problem**. The classical benefit analysis is used to rank a finite number of multi-criteria alternatives which have to be assessed, i.e. with its help, alternative measures can be compared with each other with regard to different criteria of varying dimensions. In this project, benefit analysis was applied to assess the improvement to the morphological structure of water and is explained in detail in the report and in the appendix.

Because costs play an important role in most valuation processes, the main problems and uncertainties necessarily related to **estimating costs** are shown in a separate section of the introductory chapter. The significance of the different actors and levels of analysis for looking at costs is handled in more detail in the report (e.g. analyses at the level of individual economic units versus system analysis for one sector). In addition, the problems of compiling costs, their classification and categorisation as well as the frame conditions of the cost accounting method applied are discussed and conclusions derived for the subsequent cost-effectiveness analyses. In order to show the uncertainties in the cost estimates and the significance of each frame condition, **ranges of costs** and the cost-effectiveness thus determined are to be given.

**Urban wastewater, agriculture and improving morphological water structure** were selected as particularly important fields of action in water protection and management for the cost-effectiveness analyses. Developing a method to conduct cost-effectiveness analyses for morphological water structure was a very important issue. Based on the now well established **classification of morphological water structure** according to the LAWA method, the different sub-effects (different structural elements to assess the quality of morphological water structure) were combined using a benefit analysis approach. In this way an aggregated figure is generated for the overall effect of measures which can then be related to the costs. The starting-point was an analysis of **typical deficiencies in the morphological water structure quality** for which suitable renaturation methods were determined and characterised in typical scenarios. These scenarios include the measures common to these

cases and information on the expected effects, differentiated according to varying development periods. The scenarios are explained in detail in the appendix of the report.

**Testing this methodological approach** using concrete data compiled in a supplementary project for the federal state of Hesse showed that this is a practical way to draw up cost-effectiveness relations for the sector of morphological water structure improvements. Of the typical renaturation methods, the dynamic cases "Supporting water development" and "Dynamic water development" have the best cost-effectiveness relations. A precondition for an effective implementation is the allocation of suitable areas (river banks and connected renaturation areas) for processes shaping river beds. Banks show additional positive effects in other areas (diffuse substance emissions, flood protection). In restricted regions without suitable areas (e.g. built-up areas), limited improvements can be achieved through small-scale measures in shore land and river beds and by securing a through-flow in water. These approaches, which are more strongly dominated by engineering measures, are usually less cost-effective, but may still be justified with a view to the improved leisure and recreation value.

The possibility of carrying out cost-effectiveness analyses for the area of **flood protection** was also examined. Only those measures of natural and decentralised flood protection related to a sustainable protection of streams and rivers were included. The studies showed, however, that the effects of these measures (effect here means improvement of security against floods or avoidance of flood damage) are so strongly dependent on frame conditions that general estimates cannot be made. Topography, hydrogeology, vegetation, density of population and the extent of other flood protection measures all play a significant role. Furthermore, there are only insufficient data available on the costs of measures. For this reason it only makes sense to elaborate statements about the cost-effectiveness of natural and decentralised flood protection measures for concrete projects.

In **urban wastewater management**, cost-effectiveness analyses were carried out for municipal sewage plants (requirements to eliminate P for small sewage plants; introduction of filtration technology for size 5 plants; disinfecting wastewater when discharged into endangered bathing waters), for rainwater treatment and management (de-sealing and percolation of stormwater; improved treatment of sewer overflows or stormwater) as well as for sewer inspection and renovation (reducing amounts of extraneous water). Nevertheless the results show quite considerable ranges, the costs of individual measures per avoided unit of damage vary by several factors in some cases. The influence of the existing frame conditions for each measure is especially obvious. Overall, the results do allow priorities to be set for the measures, since under favourable conditions savings can be made among the percolation measures in combined or separate systems, that can exceed the necessary costs. This results in the comparatively best cost-effectiveness. Under less favour-

able conditions, however, these measures are related to high costs, their cost-effectiveness in these cases very poor. Similarly large ranges occur for the measures for de-sealing and reducing the amounts of extraneous water.

In the field of **agriculture**, policy measures were examined which, based on different approaches, should effect similar changes in production methods and for this reason alone should result in comparatively close cost-effectiveness relations. The following measures were dealt with: information programs for farmers, intensifying the ordinance on fertiliser application, strict regulations in vulnerable areas, tax on nitrogen fertiliser, minimum requirements for available farmland per livestock, reinforced transition to ecological agriculture. The most important result of the work in the agricultural sector is that a much more favourable cost-effectiveness is achieved in **reducing nitrogen emissions** in comparison to other measures possible in the area of urban wastewater (eliminating nitrogen in smaller sewage plants; re-denitrification). The costs of favourable measures in agriculture are even below those which have already been realised in implementing nitrogen elimination in larger sewage plants in the past (see Fig. 1). The results also indicate that the measures reciprocally reinforce each other, so that bundling measures is probably the most cost-efficient solution.

For **reducing emissions of phosphorous**, in contrast, some measures in the urban wastewater sector are more cost-effective than in the agricultural sector. This applies to the percolation of storm-water under favourable frame conditions, where savings can even exceed the necessary costs. This statement is also valid for the elimination of phosphorous in small sewage plants (the process of simultaneous precipitation was chosen in the study; however, a similarly favourable cost-effectiveness is expected on average for enhanced biological P-elimination processes, although the result is more heavily dependent on the frame conditions of the individual case). The specific conditions of a catchment area also play a fundamental role in the agricultural sector so that the different possibilities would have to be examined and compared in more detail for individual concrete cases. This is especially true if phosphorous emissions into a river basin are to be reduced by a particular amount and measures in one sector are not sufficient to achieve this. However, it can be seen that consultation measures can achieve a similar level of cost-effectiveness as those of eliminating phosphorous in small sewage plants. In comparison to this, the other measures in the agricultural sector, but also the more expensive measures in urban wastewater, have a much lower cost-effectiveness (see Fig. 2).

When carrying out cost-effectiveness estimates, "soft" measures, such as, e.g. **information programs** (agricultural, construction sectors) cause particular difficulties in the quantification process. The reason for this is, firstly, that the form of the measures and thus the related costs are, to a large extent, specific to the target group involved. Secondly, when estimating the effect, different parameters have to be an-

anticipated with regard to the decision behaviour, such as, e.g. the extent that the information offered penetrates and actual changes in behaviour due to improved knowledge. When estimating these parameters there is the fundamental problem that forecasts of human behaviour are in principle uncertain. In addition, the effectiveness depends to a large extent on a careful optimisation of the measures, so that reliable estimations of the cost-effectiveness of measures can really only be derived after the measure has actually been implemented and initial results are available. Indications for the concrete assessment of these parameters can only be reasonably obtained on the basis of extensive pilot projects and their systematic evaluation.

Fig. 1: Schematic diagram of the cost-effectiveness of measures to reduce nitrogen emissions into water

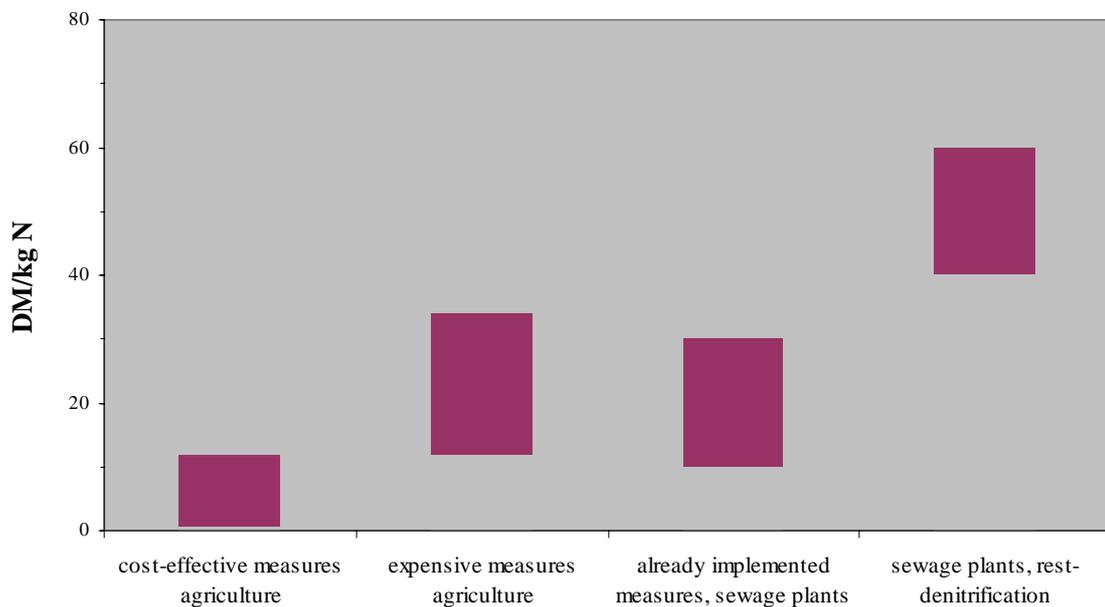
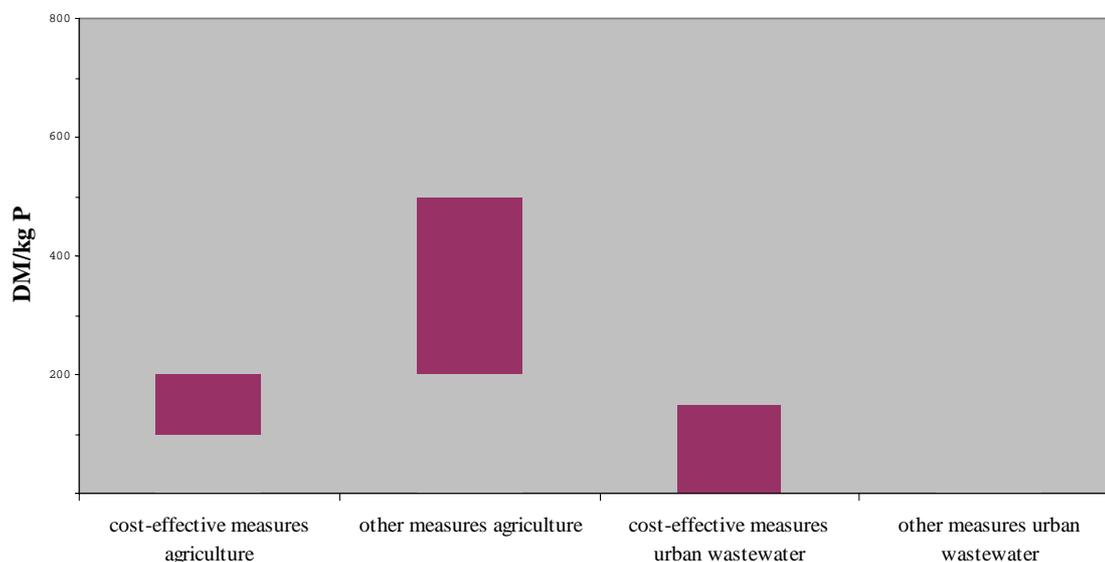


Fig. 2: Schematic diagram of the cost-effectiveness of measures to reduce emissions of phosphorous into water



The difficulties when estimating the cost-effectiveness of soft measures already show that **policy decisions** have to **consider factors other than cost-effectiveness** relations. Relevant examples are synergetic effects occurring between individual measures or cross-cutting effects of measures from other fields which have an effect on the sector under examination (secondary benefits). Including technological progress when estimating costs also causes considerable problems at present. In the future, it will be necessary to use concepts such as the evolvement of learning curves to the area of water protection and management. Furthermore, in relation to the costs of measures, questions related to the effects on the distribution of income are repeatedly brought up for discussion, although they actually represent a different criterion in the scientific sense than the orientation of policy to efficiency viewpoints. Overall, it becomes clear that policy decisions cannot be based solely on the results of cost-effectiveness analyses, but have to take into account other aspects, some of which may be unable to be quantified.

Measures to reduce environmental burdens often have an effect on several different problems. This was particularly marked in the field of urban wastewater. Here, one and the same measure had the effect of simultaneously reducing the **emissions of several heavy metals**, however in different ratios. In order to make the cost-effectiveness of these measures comparable, a scale of the effects on heavy metal equivalents was developed oriented on the concentration values given in the classifications of water quality. However, it must be noted that an orientation on scientifically derived figures with such scales is only possible between pollutants which are characterised by comparable effects. As soon as different categories of environmental problems are involved (e.g. wastewater disinfection - emission of pollut-

ants), it would be necessary to quantify the benefit of the avoided environmental pollution to compare the measures, which cannot be done without using societal valuations of the affected areas.

The calculations made for the three focal fields of morphological water structure, urban wastewater and agriculture were each based on an aggregated spatial reference unit for which **standardised average values** can be consulted. In addition, where possible, ranges were also given to take into account the influence of various frame conditions on the one hand and, on the other, the uncertainties linked with the data. For the cost-effectiveness relations thus derived, it must be stressed that they cannot be used just like that for individual concrete cases. When used for a concrete water body, their main function is to act as **orientation values** and signal **first orders of magnitude** which each require careful checking in the individual case.

Alongside this orientation function, occurring, for example, in the frame of river basin management, the main task of cost-effectiveness relations is to supply important **basic information for the strategic planning of water protection and management policy**. The results can be used as data input for scenario calculations which indicate both the extent to which the target has been achieved as well as the magnitude of associated costs. Cost-effectiveness analyses thus constitute an important part of planning rational environmental policy such as, e.g. has been repeatedly demanded by the German Council of Environmental Advisors (SRU).