

enable WCM

**Umweltanalytik und
Bilanzierungsverfahren für Wasser-
Kohlenstoff-Ressourcen-Management (dt.)
- Environmental analytics for joint water
carbon management (engl.)**

Projektskizze für das Programm KMU Innovativ

Antragsteller Fader Umweltanalytik (Dr. H. Fader), Hydroisotop
GmbH (Dr. L. Eichinger), Institut für Hydrologie der
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzdarstellung des Projektes	3
2	Thema und Zielsetzung des Vorhabens	5
3	Stand der Wissenschaft und Technik, Neuheit des Lösungsansatzes	6
3.1	Innovation und verwendete Methoden	6
3.1.1	Wasser-Kohlenstoff-Beziehungen	6
3.1.2	Geländearbeit	7
3.1.3	Laserspektrometrische Isotopen-Messtechnik in situ	7
4	Begründung der Notwendigkeit staatlicher Förderung	9
5	Marktpotenzial, Marktumfeld, Konkurrenzsituation	10
6	Kurzdarstellung der beantragenden Unternehmen	11
6.1	Firmenprofile	11
6.1.1	Hydroisotop GmbH	11
6.1.2	Fader Umweltanalytik	12
6.2	Geschäftsmodelle und Marktperspektiven	12
6.2.1	Hydroisotop GmbH	12
6.2.2	Fader Umweltanalytik	13
6.2.3	Kunden	13
6.3	Darstellung des aufzubringenden Eigenanteils	13
7	Arbeitsplan, Verbundstruktur mit Arbeitspaketen	14
7.1	Experimente	14
8	Finanzierungsplan	16
9	Verwertungsplan	18
9.1	Erwartete Ergebnisse und Mehrwert des Projektes	18
10	Literatur und Verweise	20

1 Kurzdarstellung des Projektes

Zwischen Wasserhaushalt und dem Kohlenstoffkreislauf bestehen starke Abhängigkeiten und gegenseitige Wechselwirkungen, die jedoch nach Standort, Einzugsgebiet und regionalen Randbedingungen variieren: Erhöhte Kohlendioxidkonzentrationen in der bodennahen Luftschicht reduzieren nachweislich und signifikant die Evapotranspiration von Pflanzen und wirken in komplexer Weise auf den Bodenwasserhaushalt. Erhöhte Kohlendioxidkonzentrationen in der bodennahen Luftschicht erhöhen den Biomassezuwachs bei effizienterer Wassernutzung - organischer Kohlenstoff im Boden erhöht die Wasserhaltefähigkeit und Dürre-resistenz von Böden, verringert jedoch tendenziell die Grundwasserneubildung. Änderungen im Kohlenstoffhaushalt schließlich können ebenfalls zu einer Freisetzung von Stickstoff aus dem Boden und einer Erhöhung des Nitratspiegels im Grundwasser führen.

Energiegewinnung aus Biomasse, nachhaltige Wassermengenwirtschaft und Wasserqualitätsmanagement sind somit eng zu einem Dreieck aus Wasserressourcen (W) Kohlenstoff (C) und Stoffhaushalt bzw. der Wasserqualität (Q) verbunden: Wasserhaushalt, Kohlenstoffhaushalt und Wasserqualität bedingen sich gegenseitig. Sie werden aber noch nicht standortspezifisch, effizient empirisch überwacht und gemeinsam bewirtschaftet.

Das WCQ-Dreieck

Obwohl bereits erhebliche Eingriffe in den Kohlenstoffkreislauf bei der Totalernte und Biomasse-Nutzung stattfinden und es erforderlich und geplant ist, diese Eingriffe erheblich auszuweiten, um Emissionsziele zu erreichen, werden Wechselwirkungen mit dem Wasserhaushalt und Auswirkungen auf die nachhaltige Wasserwirtschaft dabei bisher kaum berücksichtigt, selten bewertet und nach unserer Kenntnis noch nicht technisch und strategisch genutzt. Das liegt auch an einem Fehlen geeigneter Messverfahren und Monitoring-Techniken, die eine Bewertung der Folgen von Eingriffen in den Kohlenstoffhaushalt z. Bsp. für Bioenergie-Nutzung oder Biosequestration für den Wasserhaushalt standortabhängig, schnell und effizient ermöglichen. Wie hoch aktuell und relevant diese Fragestellung für die Wasserwirtschaft und die Energiewirtschaft heute und in Zukunft ist, zeigt ein Beitrag zur "Erzeugung von Biomasse zur Biogasgewinnung unter Berücksichtigung des Boden und Grundwasserschutzes" (DVGW, Energie Wasser Praxis, 9/2010), in dem gefordert wird, dass die Energienutzung aus Biomasse keine Gefährdung der Bodenfunktionen und des Grundwassers bewirken darf.

Auch die Nachhaltigkeit dieser MaSSnahmen im Hinblick auf die Hydrologie - insbesondere auf die Grundwasserneubildung, den Niedrigwasserabfluss und Wasserqualität - ist bisher unseres Wissens für konkrete Verfahren zur Kohlenstoffanreicherung

und angewandte Biosequestrationstechniken noch wenig standortspezifisch untersucht worden.

Das Projekt *enable WCM* schafft messtechnische Grundlagen und Bewertungsverfahren, um mögliche Konflikte oder Potentiale zwischen Energieerzeugung aus Biomasse und der Wasserwirtschaft zu erkennen und zu bewerten.

Aus der Untersuchung der vorliegenden Studien wurden zusammenfassend 3 Felder für Defizite und Potentiale erkannt, die das Projekt *enable WCM* durch Forschung beheben und durch neue Dienstleistungen nutzen soll:

Defizite und
Potentiale

1. Die Nutzung von Wasser und Eingriffe in den Kohlenstoff-Haushalt sind nicht zu trennen, es bestehen starke Wechselwirkungen und Abhängigkeiten - es gibt aber noch kaum Ansätze zu integriertem Wasserressourcen-Kohlenstoff-Management auf lokaler, standortabhängiger Ebene. Bisher werden hauptsächlich globale und regionale Abschätzungen im Rahmen großer und längerfristig angelegter Forschungsprojekte durchgeführt.
2. Aussagen erfordern sehr aufwändige und langwierige Zeitreihen-Messungen und komplexe Modelle. Das Projekt *enable-WCM* soll einen Beitrag zum integriertem standortabhängigen Wasser-Kohlenstoff-Management leisten, indem für lokale Verfahren schnelle und effiziente Messtechnik zur Überwachung entwickelt wird. Die Umweltanalytik und die Verfahrensentwicklung und Bewertung soll am Beispiel von konkreten, standortabhängigen Experimenten demonstriert werden.
3. Bisher sind KMU noch nicht kaum in die Untersuchung, Umweltanalytik, Verfahrensentwicklung, Bewertung und daraus abgeleitetes Consulting im Bereich Umweltfolgen von Bioenergienutzung, Bewertung von Folgen für Wasserressourcen, Verfahrensentwicklung für Integriertes Kohlenstoff-Wassermanagement eingebunden. Das Projekt *enable-WCM* soll dies ändern: es sollen gezielt Umweltanalytik und daraus abgeleitete Dienstleistungen in der Verfahrenstechnik und im Umwelt-Wasser-Consulting abgeleitet werden.

2 Thema und Zielsetzung des Vorhabens

Das übergeordnete Ziel von *enable WCM* ist es, innovative und effiziente mess- und verfahrenstechnische Methoden und Instrumente für ein nachhaltiges und emissionsreduzierendes WasserressourcenKohlenstoffManagement zu entwickeln. Damit sollen die KMU-Projektpartner Hydroisotop GmbH und Fader Umweltanalytik in die Lage versetzt werden, neue Dienstleistungen in der Umweltanalytik anzubieten und neue Verfahrenstechniken und Beratungsleistungen zu entwickeln, mit denen standortabhängig und schnell Auswirkungen von Bioenergie und Biosequestrationsverfahren auf die Wasserwirtschaft bewertet, gesteuert und konzipiert werden können.

Das Projekt soll in enger Zusammenarbeit zwischen den beteiligten spezialisierten und international profilierten KMU-Firmen Hydroisotop GmbH (Isotopenhydrologie) und Fader (Umweltanalytik, Mess- und Verfahrenstechnik) und dem Institut für Hydrologie, Forschungsbereich Umwelthydrologie, und folgende konkrete Ziele erreichen:

1. Durch einen Wissenstransfer und fachliche Kooperation soll ein *innovatives Messverfahren zur In-Situ-Isotopenanalytik* von Wasserisotopen und Kohlenstoff-Isotopen (in Zukunft dann auch Stickstoffisotopen) entwickelt werden, mit dem die erforderliche Messtechnik zur Überwachung und Beweissicherung von WCM-Systemen bereitgestellt wird (Hydroisotop GmbH/IHF). innovatives Messverfahren
2. *In dem Projekt sollen verfahrenstechnische Lösungen und Bewertungsverfahren für die Konzeption von WCM-Systemen* entwickelt werden (Fader Umweltanalytik/IHF). Es gibt inzwischen eine Reihe von konkreten Fragestellungen, bei denen mögliche Konflikte zwischen Kohlenstoffmanagement und Wassermanagement behandelt werden müssen: Hierfür sollen klare und nachprüfbarere Bewertungsverfahren entwickelt werden. Es gibt eine Reihe von Anwendungsmöglichkeiten von gemeinsamem Wasser- und Kohlenstoffmanagement: Hierfür sollen auf wissenschaftlicher Basis Konzepte entwickelt werden, mit denen Emissionen reduziert und Kohlenstoff in Böden angereichert werden kann, ohne dass dadurch negative Auswirkungen auf den Wasserhaushalt entstehen. Bewertung von WCM-Systemen

Dadurch soll bei den Firmen Hydroisotop GmbH und Fader Umweltanalytik ein neues Arbeitsfeld in der Umweltanalytik mit eigenen beratungsintensiven Dienstleistungen geschaffen werden. Durch das Projekt sollen KMUs in Zusammenarbeit mit universitärer Forschung neue und hoch innovative Messverfahren, Dienstleistungen, Verfahrenstechniken und strategische Kompetenz entwickeln, die zur Erreichung förderrelevanter Ziele im Bereich nachhaltige Wasserwirtschaft im Globalen Wandel beitragen. Insgesamt leistet das Konsortium einen Beitrag zur nachhaltigen und die Wasserwirtschaft nicht beeinträchtigenden Emissionsreduktion.

3 Stand der Wissenschaft und Technik, Neuheit des Lösungsansatzes

Das Projekt verbindet ein aktuelles Thema der Forschung (Wasser und Kohlenstoff-Management) mit neuen Entwicklungen in der Messtechnik (Laserbasierte Gas- und Isotopenmessung) und neuen, innovativen Dienstleistungen (WCM Strategien). Die Innovationen werden jeweils einzeln dargestellt.

3.1 Innovation und verwendete Methoden

3.1.1 Wasser-Kohlenstoff-Beziehungen

In zahlreichen Studien wurden die Auswirkungen einer Erhöhung der CO_2 -Konzentration auf verschiedene Pflanzenarten und Skalen untersucht [1]. Grundsätzlich wurde eine Verringerung der Stomataleitfähigkeit bei einer Zunahme der CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre beobachtet [15]. Dieser führt zu einer Verringerung des Wasserbedarfes von Pflanzen [13]. Bei einer Zusammenstellung von 23 Pflanzenarten konnte eine mittlere Abnahme der Transpiration um 20-35 % festgestellt werden, bei einer Verdoppelung der umgebenden CO_2 -Konzentration von 23 %. Es wird angenommen, dass sich diese Effekte auf den Wasserhaushalt auswirken und lokal, regional und sogar global zu einer Erhöhung des Abflusses führen können [2]. Es gibt noch keine gesicherten Aussagen zur Grundwasserneubildung, obwohl Veränderungen des Abflusses [6], dahingehend interpretiert werden, dass auch die Grundwasserneubildung sich durch eine Veränderung der Kohlendioxid Konzentration bereits geändert hat und weiterhin ändert. Weitere Studien belegen, dass sich die Dürresistenz erhöht [14].

Der Grundansatz des Projektes ist es, die Wirkungen von CO_2 auf das Pflanzenwachstum, die Transpiration und die Stoffumsätze im Boden zu nutzen, um Kohlenstoffniveaus im Boden zu erhöhen und die Transpiration zu senken bei voller Erhaltung der Bodenfunktionen. Dieser Ansatz ist hoch innovativ und neu. Eine Patentrecherche ergab, dass Biosequestrationsverfahren, bei denen Kohlenstoff im Boden, in Pflanzen oder indirekt in der Nahrungskette angereichert werden bereits durch ein Patent geschützt sind [18], allerdings wurde hierbei noch keine Verbindung mit dem Wasserhaushalt, den Bodenfunktionen und der Wasserqualität in den Patentschutz eingeschlossen. Es gibt erst in 2010 erste Ansätze und Publikationen zu einem gemeinsamen Management von Wasser und Kohlenstoff, allerdings nur in Bezug auf Wälder [19]. Die Anwendung im

Bereich der Landnutzung mit hohen Ernteumschlägen und schnellen, jährlichen Nutzungsfolgen ist unseres Wissens neu und für unsere Region hoch relevant.

3.1.2 Geländearbeit

Wir werden vorhandene und gut dokumentierte Lysimeter-Standorte verwenden, um die Auswirkungen von Maßnahmen, die den Kohlenstoffhaushalt beeinflussen (Totalernte, Biomasseentzug, Kohlenstoffzugabe) und die Veränderungen des Wasserhaushaltes und der Transportprozesse im Boden bis zum Grundwasser zu untersuchen. Diese werden mit einer neuen Generation von Laserspektrometrischen Geräten zur Messung von CO_2 , H_2O (Wasserdampf) und N_2O und deren Isotope ausgestattet. An diesen Standorten wird der Wasserhaushalt detailliert erfasst. Hierfür wird - parallel zu den klassischen Methoden der Wassergehalts- und Saugspannungsmessung in verschiedenen Tiefen - eine neue Methode der Perkolationsmessung verwendet: Über die stabilen Isotope des Wassers werden die Sommer- und Winterniederschläge über die Tiefe beprobt. Durch neue Laserspektrometrische Geräte ist die Messung in vielen Tiefen oder mit hoher zeitlicher Auflösung inzwischen schnell und genau möglich. In Ergänzung zu den chemischen Verbindungen werden auch deren Isotope gemessen. Dadurch können genaue Aussagen über die Herkunft von Kohlenstoff und Stickstoff und über deren Umsetzungsprozess im Boden geleistet werden. Die Standorte werden in der Nähe von Wasserscheiden gewählt, somit wird über das Grundwasser eine Bilanzierung jedes Standortes erreicht.

Diese Methode hat zwei entscheidende Vorteile:

1. Es wird dadurch möglich, Veränderungen in situ sofort zu erfassen. Eine Messperiode von mehreren Jahren und anschließende Auswertung wie bei Lysimetern ist nicht mehr nötig: Mit der in-situ Isotopenprofil-Methode werden die Veränderungen der *vergangenen* Jahre evaluiert. Auswirkungen auf den Kohlenstoffhaushalt, den Wasserhaushalt und eventuell andere Veränderungen des Stickstoffhaushaltes können also rückwirkend erkannt werden. Diese Methode wurde am IHF entwickelt und getestet und ist für Firmen erprobungsfähig.
2. Diese Methode ist wesentlich kostengünstiger und schneller als Zeitreihenuntersuchungen an Lysimetern. Die Kosten für diese Geländemethode sind geringer, da die Messungen der stabilen Isotope im Labor erfolgen.

3.1.3 Laserspektrometrische Isotopen-Messtechnik in situ

Bei der Absorptionsspektrometrie werden die Unterschiede in den Eigenschwingungs- und damit Absorptionsfrequenzen ausgenutzt, um verschiedene gasförmige Stoffe zu identifizieren. Da hierfür keine chemischen Reaktionen nötig sind, kann das ganze Verfahren bei wesentlich niedrigeren Temperaturen durchgeführt werden.

Bereits seit mehreren Jahrzehnten kennt man das Prinzip der Wassergehaltsmessung mittels Laserabsorption [17]. Allerdings war die Technik damals aufgrund reiner Intensitätsmessungen lediglich in der Lage, eine Gesamtkonzentration für alle Isotope - den Gesamtdampfdruck also - anzugeben. Mit der Einführung von Lasern mit unterschiedlich einstellbaren Frequenzen wurde immerhin die Messung von verschiedenen mehratomigen Gasen in einem Gerät möglich. Allerdings erst mit der Abkehr von der reinen Intensitätsmessung und der Auswertung der Abklingzeit nach dem Abschalten des Lasers konnte die Genauigkeit dieser Methode signifikant verbessert werden.

Schließlich gelang es, die Messtechnik soweit zu verfeinern, dass die Bestimmung der Isotopenverhältnisse von $^2H/^1H$, $^{17}O/^16O$ sowie $^{18}O/^16O$ innerhalb von nur einer Messung und mit nur einer Wasserprobe möglich wurde [12, 7]. Aufgrund der Entwicklung eines Monitors, der die Wellenlänge des Lasers sehr genau messen kann, ist es inzwischen möglich, die einzelnen Absorptionsbanden noch genauer von einander zu unterscheiden [4]. Dadurch wurde die Genauigkeit dieser Methode so sehr verbessert, dass sie schließlich in etwa der erzielbaren Genauigkeit der Massenspektrometrie entspricht [9].

Bei der Laserabsorptionsspektrometrie werden nur die Isotope quantifiziert, die in einer bestimmten chemischen Verbindung (hier: Wasser oder Kohlenstoff) eingebaut sind. Dagegen werden bei der Massenspektrometrie alle in der Probe enthaltenen Sauerstoff- bzw. Wasserstoffisotope gemessen. Dieser grundlegende Unterschied kann zu systematisch divergierenden Messwerten bei bestimmten Verunreinigungen führen, welche ebenfalls diese Elemente beinhalten [3].

Da die Aufgabe von Proben bei Laserspektrometern durch geringe Umbauarbeiten sowohl im flüssigen als auch im gasförmigen Zustand möglich ist, wurde schließlich statt des Bodenwassers einer Probe die darüber befindliche Dampfphase in einem geschlossenen Container beprobt [10] und anschließend mit der Formel für die Gleichgewichtsfractionierung [16] auf die entsprechenden Werte für die flüssige Phase umgerechnet. Außerdem wird die Laserspektrometrie inzwischen genutzt, um kontinuierliche Zeitreihen von Isotopensignaturen des atmosphärischen Wasserdampfes zu erstellen [11]. Von der Kombination dieser beiden Ansätze - der kontinuierlichen Beprobung von Bodenluft also - findet sich jedoch in der Literatur kein Hinweis.

Ebenso entwickelt sich die Isotopenmessung des Kohlendioxids [5] und wird für die Untersuchung der Herkunft und Umwandlung verschiedener Kohlenstoffverbindungen in der Atmosphäre und im Boden genutzt [8].

Im Projekt soll eine Isotopsonde entwickelt werden, mit der Isotope des Wassers im Boden und Isotope des Kohlenstoffes in situ und in Echtzeit gemessen werden. Damit werden Isotopenprofile des Wassers und des Kohlenstoffes erstellt und vor Ort ausgewertet. Diese ermöglichen eine Bestimmung der Wasserbewegung, der Grundwasserneubildung, des Wassergehaltes und der bei der Neubildung herrschenden Kohlenstoffsignatur.

4 Begründung der Notwendigkeit staatlicher Förderung

In diesem Projekt wird ein aktuelles Thema mit hoher Bedeutung für den Emissionshandel und die regionale Wasserwirtschaft mit neuen und effizienteren Techniken untersucht. Die grundlegenden Machbarkeitsstudien wurden am IHF durchgeführt, die technologische und wissenschaftliche Machbarkeit gezeigt. Dennoch können diese Leistungen nur dann wirtschaftlich genutzt werden, wenn ein Übertrag in innovative KMUs gelingt. Dafür ist das Projekt konzipiert. Die beteiligten Firmen bringen dafür die Voraussetzungen mit. Aus Eigenmitteln kann die Universität diesen Wissenstransfer und die Entwicklung zu einem marktreifen Produkt nicht leisten. Auch für die beteiligten KMU wäre der Entwicklungsaufwand zu hoch. Die Entwicklungszeit für die spezialisierte Umweltanalytik liegt im Bereich von 1-3 Jahren, die Markteinführung ist begleitet von intensiver Beratung, Demonstration in Pilotprojekten und Validierung.

Das Projekt nutzt die Vorentwicklung an der Universität, in dem die Machbarkeit bewiesen wurde. Dennoch erfordert die Einführung der Innovationen in den Arbeitsablauf der Firmen, die Anpassung der Geräte, die Entwicklung von Verfahren und Produktion, Vorlaufzeiten, die nicht ohne Förderung geleistet werden können.

Auch die Dienstleistungen, die von der Hydroisotop GmbH und Fader Umweltanalytik zur Zeit erfolgreich angeboten werden, wurden in einem universitären Umwelt entwickelt, erprobt und zur Anwendung gebracht. Im Bereich der hochspezialisierten Umweltanalytik und Beratung ist dieser Austausch zwischen Universität und innovativen Unternehmen wichtig für die Weiterentwicklung der Produkte und den Erhalt einer internationalen Konkurrenzfähigkeit.

5 Marktpotenzial, Marktumfeld, Konkurrenzsituation

Es werden für die Dienstleistungen in der Umweltanalytik und die darauf aufbauenden Beratungsleistungen ausgezeichnete Chancen national und international gesehen. Dies ergibt sich aus mehreren Faktoren: Zunächst ist das Thema der Kohlenstoff-Wasser-Bewirtschaftung neu, von hoher Relevanz und mit hohen Investitions- und Transferkosten verbunden (Bioenergie, Emissionshandel). Beratungsleistungen und Spezialanalytik haben also für die Betreiber von Bioenergieanlagen, für den Emissionshandel von Kohlendioxid, für die Wasserwirtschaft bei eventueller Beeinträchtigung und für die Landwirtschaft eine hohe finanzielle Bedeutung. Damit ist auch ein Gegenwert für Analytik und Beratung gegeben, die zu einer Optimierung dieser Anlagen und des Betriebs führen. Die Dienstleistungen sind hoch speziell und sehr beratungsintensiv. Von daher ist von vorneherein eine geringe Konkurrenzsituation gegeben. Bisher werden Studien zum Wasser-Kohlenstoff-Management nur von Forschungszentren angeboten.

Die neue Technologie der Isotopenprofil-Messung spart Messzeit. Statt des Betriebs von Lysimetern kann mit einer einzigen Messung eine Information der letzten 5 Jahre am Standort ermittelt werden. Der Betrieb eines Lysimeters und die Auswertung erzeugen Kosten im 5-stelligen Euro-Bereich. Durch die Kostenreduktion sind die Dienstleistungen der Umweltanalytik und der begleitenden Beratung attraktiv.

Methoden können genutzt werden für Beratungsleistungen von Behörden und Entscheidungsträgern, die die Landnutzungsplanung durchführen, indem die Analytik genutzt wird zum Nachweis möglicher Bodenverbesserung und möglicher Steigerung der Ertragsfähigkeit durch die CO_2 Bindung in Böden in Vergleich zum zusätzlichen landwirtschaftlichen Flächenverbrauch durch den Anbau nachwachsender Rohstoffe. Von Landwirtschaftlichen Beratungseinrichtungen besteht Interesse, nachzuweisen, inwieweit eine CO_2 -Düngung sich tatsächlich auf eine Verbesserung der Bodenstruktur durch eine Erhöhung des organischen Anteils auswirkt.

Inzwischen hat sich ein CO_2 Handel entwickelt, bei dem Kohlendioxid aus verschiedenen Quellen gehandelt, aber auch dessen Sequestration, also Umwandlung in speicherfähige Formen monetär bewertet wird. Auch in der Privatwirtschaft wird ein Marktpotential gesehen. Kraftwerke mit erhöhten Abgaben durch hohe CO_2 -Produktion können Methoden verwenden um nachzuweisen, dass CO_2 nicht klimarelevant wird, da es durch den Boden gebunden wird. Diese Information hat auf Grund des Emissionshandels einen finanziellen Gegenwert.

6 Kurzdarstellung der beantragenden Unternehmen

6.1 Firmenprofile

6.1.1 Hydroisotop GmbH

Die Firma *HYDROISOTOP GmbH* wurde 1982 gegründet. Die Firmeninhaber Dr. L. Eichinger und Dr. M. Forster (beide Dipl. Physiker) promovierten mit Arbeiten zum Nachweis und zur Interpretation von natürlichen Isotopengehalten in der Umwelt, speziell in Grund- und Trinkwasser. Aus der Art des Arbeitsgebietes ergab sich in den Folgejahren eine sehr enge Zusammenarbeit mit verschiedenen Forschungseinrichtungen, wobei Aufgaben im Bereich der Umweltforschung z.T. in Kooperation mit Universitäten oder mit Großforschungseinrichtungen durchgeführt wurden. Nachdem zunächst hauptsächlich Isotopenuntersuchungen in natürlichen Systemen mit dem Schwerpunkt Grundwasseruntersuchung vorgenommen wurden, entwickelte sich daraus ein weites Arbeitsfeld im Bereich Altlasten, Deponien, Trink-, Heil- und Mineralwasser sowie der Geothermie und der Spurenschadstoffanalytik. Hierbei handelt es sich speziell um eine von der *HYDROISOTOP GmbH* weiterentwickelte Analytik von IHKW, Pestiziden und Herbiziden in Grundwasser- und Bodenproben. Mittlerweile gehören neben Isotopengehaltsbestimmungen und hydrochemischen Untersuchungen auch Markierungsuntersuchungen und hydraulische Untersuchungen zum Leistungsumfang der *HYDROISOTOP GmbH*. Die Mitarbeiter der *HYDROISOTOP GmbH* besitzen langjährige Erfahrung und umfassende Kenntnisse auf den Gebieten der Analyse von Umweltisotopen, Wasserinhaltsstoffe und Gase, der Hydrogeologie, der Projektplanung und Abwicklung sowie der Bewertung und Interpretation von hydrochemischen, isotopehydrologischen und hydrogeologischen Daten. Die fundierten Kenntnisse der Mitarbeiter zum hydrochemischen, geochemischen und hydraulischen Verhalten aquatischer Systeme ermöglicht es, hydrogeologische Systeme zu erfassen und zu interpretieren sowie Vorgaben für eine nachhaltige Bewirtschaftung zu entwickeln. Die Mitarbeiter der *HYDROISOTOP GmbH* entwickelten individuelle Messtechniken und Konzepte für Markierversuche im Grundwasser, in Oberflächengewässern, in der ungesättigten Zone oder für Spezialanwendungen. Aus einer umfangreichen Palette von Fluoreszenztracern, Gastracern und Isotopen werden Einzeltracer oder Markierstoff-Kombinationen ausgewählt. Die Messung erfolgt spektralfluorometrisch im Labor oder mit Online-Messgeräten im Gelände.

6.1.2 Fader Umweltanalytik

Das Sachverständigeninstitut, Ingenieurbüro und Umweltlabor FADER Umweltanalytik ist seit über 40 Jahren für öffentliche und private Auftraggeber am Markt tätig. Die kundenorientierte Lösung umweltchemischer Problemstellungen in den Bereichen Wasser, Boden, Altlasten, Entsorgung, Baustoffe und Haustechnik ist Unternehmensziel.

Schwerpunkte der Arbeit sind die Bereiche Dienstleistungen für die Bauwirtschaft (maßgeschneiderte Sanierungs-, Aushub- und Recyclingkonzepte, Grundstücksbewertung) und verfahrenstechnische Wasseraufbereitung (neuartige Verfahren für Trinkwasser, Brauchwasser und Abwasser; Grundwassersanierungen). Im Rahmen der Planung und Ausführung innovativer Sanierungsmethoden für Altlasten und Grundwasser wird mit namhaften Forschungsinstituten zusammen gearbeitet.

Durch eine kompetente interdisziplinäre Zusammenarbeit eines Teams von Ingenieuren, Geologen und Chemikern können fachübergreifende Problemlösungen angeboten werden. Die Kombination von zertifizierten Labordienstleistungen und Gutachterbüro unter einem Dach gewährleistet eine flexible, rasche und kostengünstige Projektabwicklung im Sinne des Auftraggebers.

Der Geschäftsinhaber Dr. Hansjörg Fader ist als vereidigter Sachverständiger für Trink-, Grund- und Brauchwasser öffentlich bestellt sowie als Fremdüberwacher und Mitglied des Güteausschusses der RAL 501/2 - Aufbereitung für Wiederverwendung von kontaminierten Böden und Bauteilen tätig. Das Unternehmen beschäftigt derzeit 22 Mitarbeiter.

6.2 Geschäftsmodelle und Marktperspektiven

6.2.1 Hydroisotop GmbH

Das Geschäftsmodell der Hydroisotop GmbH beruht auf der spezialisierten Umweltanalytik für Isotope im Bereich Wasser und Umwelt. Die Isotopenanalytik erfordert hohes Fachwissen und Erfahrung bei der Planung und Konzeption der Anwendung, der Entnahme der Proben, der Messung und vor allem der Auswertung. Die Messungen werden zum Teil im eigenen Haus durchgeführt, die Arbeitskosten der im Hause durchgeführten Laborarbeiten und die Gerätekosten sind geringer als der Gegenwert der Spezialanalytik und vor allem der daraus abgeleiteten Beratung und Problemlösung. Die Hydroisotop arbeitet dabei häufig in einem B2B Verhältnis zu Geschäftspartnern im Bausektor, mit Ingenieurbüros oder mit Fachverwaltungen.

Durch die Veränderungen im Bereich der Umweltanalytik, insbesondere die neuen Verfahren, steht die Hydroisotop GmbH vor der Herausforderung, neue Messverfahren mit in ihr Programm aufzunehmen und sich neue Geschäftsfelder zu erschließen. Bei den neuen Messverfahren wird eine Veränderung von der Messung mit Massenspektrometern hin zu optischen Verfahren mit Lasertechnik kommen, die die Stückpreise für die

Isotopenanalytik verringert. Andererseits ergeben sich durch die neue Messtechnik damit neue Anwendungen vor allem in der Messung von räumlichen Verteilungen und hoch-aufgelösten Zeitreihen von Isotopen. Die Hydroisotop GmbH soll innerhalb von einem Jahr die Technik anwenden und innerhalb von 3 Jahren neue Geschäftsfelder damit eröffnen.

6.2.2 Fader Umweltanalytik

Fader Umweltanalytik ist auf die Umweltanalytik spezialisiert. Durch die Konzentration auf die im Bereich Wasser, Boden, Umwelt vorkommenden chemischen Verbindungen ohne Isotopenanalytik besteht zu der Hydroisotop GmbH keine Konkurrenzsituation, sondern im Gegenteil eine komplementäre Ergänzung bei einer Ähnlichkeit des Ansatzes: Die Fader Umweltanalytik hat sich ebenso auf beratungsintensive und spezialisierte Umweltanalytik konzentriert mit einem komplementären Angebot von Analytikdienstleistungen. Durch die Veränderungen in der Kundenstruktur und der Themenfelder muss auch die Fader Umweltanalytik neue Geschäftsfelder entwickeln. Das Projekt wird im Bereich der Laserspektrometrischen Messung von Umweltgasen (Kohlendioxid, später Lachgas) zur Konzentrationsmessung (ohne gleichzeitige Isotopenanalytik) neue Anwendungsbereiche schaffen. Diese werden zunehmend in Beratungsleistungen des Wassermanagements und vor allem des Kohlenstoffmanagements gesehen.

6.2.3 Kunden

Kunden sind Wasserversorger und Energieversorger, die die Folgen der Bioenergienutzung für den Wasserhaushalt abschätzen müssen, den Einsatz von kohlenstoffhaltigen Rückständen oder deren Entzug bewerten müssen, Umweltbehörden der Länder und Ingenieurbüros, die Fachgutachten und begleitende Analytik zu diesen Fragestellungen benötigen. Fader Umweltanalytik und Hydroisotop GmbH können die Dienstleistungen komplementär anbieten.

6.3 Darstellung des aufzubringenden Eigenanteils

Beide Firmen tragen einen Eigenanteil über die Entwicklungsarbeit bei der Einführung der neuen Umweltanalytik. Diese umfasst Personalkosten für die beteiligten Chemiker und Physiker. Für die Einführung der Messgeräte sind Vergleichsmessungen zur Kalibrierung und Validierung notwendig: Diese werden mit den vorhandenen Massenspektrometern, Gaschromatographen und Ionenchromatographen durchgeführt.

7 Arbeitsplan, Verbundstruktur mit Arbeitspaketen

Das Projekt wird sich über 3 Phasen erstrecken. Im ersten Jahr werden technische Vorarbeiten zur Einführung der Laser-Absorptionsmessung durchgeführt (Einführung der Methode der Laserspektrometrie): Bei der Hydroisotop GmbH wird dies die Isotopenanalytik von Wasser und Kohlendioxid betreffen, bei Fader Umweltanalytik die Laserabsorptionsmessung zur Konzentrationsmessung von Wasserdampf und Kohlendioxid.

Während des 2. Jahres werden Experimente und Messkampagnen durchgeführt. Parallel erfolgt die Auswertung der Messergebnisse und deren Evaluierung laufend. Durch die Ausrichtung der Firmen kann eine vom Arbeitsablauf komplementäre Arbeit erfolgen: Es werden jeweils Stoffkonzentrationen (Fader Umweltanalytik) und Isotope (Hydroisotop GmbH) gemessen, ausgewertet und evaluiert.

In einer abschließenden Phase wird die Markteinführung der Technologien und Beratungsleistungen vorgenommen. Hierfür werden Einführungsveranstaltungen von den Firmen organisiert, bei denen die neuen Produkte vorgestellt werden. Es erfolgt eine wissenschaftliche Publikation in Fachzeitschriften und Vorstellung auf Fachtagungen. Patentanmeldungen werden ggf. vorbereitet und durchgeführt.

7.1 Experimente

Zur Untersuchung dieser Zusammenhänge werden auf vorhandenen Versuchsflächen, die bereits mit Lysimetern ausgestattet sind, anwendungsnahe Experimente durchgeführt. Dieser Experimente simulieren die Auswirkungen wichtiger gegenwärtige Tendenzen in der Bewirtschaftung des Bodens auf die Wasserqualität und auf den Wasserhaushalt eines Standortes. Prinzip der Experimente ist es, einen Teil des gekoppelten Kohlenstoff- und Nährstoffhaushaltes kontrolliert zu modifizieren und die darauf folgenden Veränderungen auf den Wasserhaushalt zu beobachten.

- Experiment Wasserhaushalt und Kohlenstoffspeicherung: Das Experiment Kohlenstoff Speicherung untersucht die Zusammenhänge zwischen Verfahren zur langfristigen Kohlenstoff Speicherung im Boden und den Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, insbesondere die Wasserspeicherung und indirekt auf die Nitratauswaschung und damit die Wasserqualität. Forschungshypothese ist, dass ein höherer Kohlenstoffgehalt die Wasserspeicherung erhöht und damit indirekt die Grundwasserneubildung verringert sowie die Nitratauswaschung verringert.

- Experiment Wasserhaushalt und Wasserqualität eines Standortes bei Kohlendioxid-Düngung im Boden: Das Experiment Kohlendioxiddüngung simuliert eine Begasung des Bodens mit Kohlendioxid und untersucht die Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum, die gebildete Biomasse im Boden, die Nährstoffhaushalte, und letztlich vor allem auf den Wasserhaushalt. Die Begasung soll entsprechend der Technologie der Tröpfchenbewässerung mit porösen Schläuchen, die im Boden verlegt werden, erfolgen. Forschungshypothese ist, dass eine Begasung mit Kohlendioxid eine Erhöhung der Biomasseproduktion, eine Verringerung der Nitratauswaschung und eine Verminderung der Grundwasserneubildung bewirkt.
- Experiment Wasserhaushalt und Wasserqualität bei totalem Kohlenstoff-Entzug: Das Experiment Kohlenstoff-Entzug simuliert die neuere Praxis der Totalernte, die einem totalen Entzug der Biomasse z. Bsp. für Stroh-Pellets entspricht. Die Auswirkungen auf die Nährstoffumsetzung vor allem von Nitrat im Boden und auf den Wasserhaushalt werden untersucht. Forschungshypothese ist, dass die Totalernte die Wasserspeicherung verringert und die Mineralisierung von Nitrat erhöht. Dadurch wird die Nitratauswaschung durch zwei sich verstärkende Prozesse erhöht.
- Extremereignisse im Wasserkreislauf und Nährstoffhaushalt: Das Experiment Extremereignisse simuliert das Auftreten von Dürren und Vernässungen und untersucht die Auswirkungen auf den Kohlenstoff- und Nährstoffhaushalt. Forschungshypothese ist, dass Nitratauswaschung sowohl durch Dürren als auch durch Vernässungsperioden erhöht wird.

8 Finanzierungsplan

Tabelle 8.1: Finanzierungsplan

Projektpartner / Beschreibung der Kosten	Kosten (Euro)
Hydroisotop GmbH	
Anschaffung Gerät (Picarro Isotope Analyzer), Verbrauchsmaterial	75 000,-
Personal (Techniker, Wissenschaftler, Verwaltung)	175 000,-
Reisekosten (Austausch Partner, Konferenzen)	20 000,-
Geländearbeit (Fahrten zu und von den Probenahmestellen)	30 000,-
Patentanmeldung (ggf.)	5 000,-
Gesamtkosten Hydroisotop GmbH	305 000,-
Fader Umweltanalytik	
Befliegung (Testfläche aus Experiment Totalernte/Biomasseentzug)	9 000,-
Befliegung (Testfläche aus Experiment Kohlendioxid-Düngung)	18 000,-
Befliegung (Testfläche aus Experiment Rückführung aus Bioenergieanlage)	9 000,-
Grundwasseranalysen (500 Proben für Wasserchemie des Sickerwassers)	75 000,-
Dienstreisen (22.500 km à 0.50 EUR)	11 250,-
<i>Personal</i>	
Projektleiter (300 Stunden à EUR 100,-)	30 000,-
Ingenieur (500 Stunden à EUR 80,-)	40 000,-
Techniker (500 Stunden à EUR 70,-)	35 000,-
Probenahmekolonie (750 Stunden à 130,-)	97 500,-
Gesamtkosten Fader Umweltanalytik	324 750,-
Universität Freiburg, Institut für Hydrologie	
<i>Personal</i>	
Techniker : Bau der Probenahmesonde für Isotope (6 Monate)	67 200,-
Entwicklung der Wasser-Gas Equilibrierung (6 Monate)	51 200,-
Kalibrierung des Messverfahrens mit Massenspektrometern (6 Monate)	51 200,-
Entwicklung einer in situ Auswertesoftware (6 Monate)	51 200,-
Anschaffung eines Picarro-Analyzers (Kohlenstoffisotope, Wasserisotope)	55 000,-
<i>Reisekosten</i>	
Geländearbeit (14.000 km à 0.50 EUR)	7 000,-
Reisen zu Projektpartnern	5 000,-
Konferenzen	10 000,-
Verbrauchsmaterial (Labor, Gelände, Analytik, Massenspektrometer)	8 500,-
Gesamtkosten Institut für Hydrologie	306 300,-

9 Verwertungsplan

9.1 Erwartete Ergebnisse und Mehrwert des Projektes

Eine gemeinsame Betrachtung der miteinander verbundenen Nährstoff- und Wasserströme bietet - und das wird eine wichtige Komponente des Projektes KoWaS sein - neue Handlungsmöglichkeiten und Optionen für die Anpassung an den Klimawandel und kann als Basis für neue hoch spezialisierte Dienstleistungen auf internationalem Niveau dienen:

- WCM liefert praktische und anwendungsorientierte Daten zu Auswirkungen der Kohlenstoffspeicherung in Böden auf den Wasserhaushalt (vor allem die Wasserspeicherung) und die Wasserqualität.
- Auswirkungen der Totalernte auf den Wasserhaushalt und die Wasserqualität werden untersucht. Möglichkeiten zur Stabilisierung oder Erhaltung des Kohlenstoffspeichers durch kontrollierte Zufuhr von Kohlendioxid sind eine Möglichkeit, die Kohlenstoffbilanz zu verbessern. Die Auswirkungen dieser Verfahren auf den Wasserhaushalt und die Wasserqualität sind kaum untersucht. WCM wird helfen, solche Auswirkungen abzuschätzen und in die Wirtschaftlichkeits- und Machbarkeitsanalysen für solche Verfahren von Anfang an fundiert einzubeziehen.
- Wasserhaushalt, Kohlenstoffbilanz und Nitratauswaschung lassen sich in einer gemeinsamen Betrachtung wesentlich besser verstehen und steuern. WCM wird Ansätze bieten, Nährstoffströme und insbesondere die Nitratauswaschung bei geänderten Verfahren zur Gewinnung von Energie aus Biomasse und bei sich ändernden Umweltbedingungen besser abzuschätzen und zu managen.
- Der Wasserhaushalt eines bewachsenen bzw. genutzten Standortes hängt auch von Nährstoffinventar und den jeweiligen Umsatzprozessen ab. Eine Vorhersage der Grundwasserneubildung unter geänderten Klimabedingungen bei einer sich ändernden Landnutzung kann nicht über Extrapolation gegenwärtiger Werte erreicht werden, ohne die sich ändernden Nährstoffumsätze zu berücksichtigen. WCM wird experimentelle Daten und fundierte Bemessungsmethoden für die Grundwasserneubildung im Klimawandel bei sich ändernden Nährstoffkreisläufen liefern.

Für die Firmen entsteht ein neuens Geschäftsfeld in der Umweltanalytik mit mobilen in situ Isotopenanalysen. Aus Voranfragen bei Wasserversorgern, Energieerzeugern im Bereich der Bioenergie und Umweltbehörden zeigt sich ein zunehmendes Interesse

an gekoppeltem Landnutzungs-, Wasser- und Kohlenstoff/Bioenergie - Management. Die im Projekt *enable WCM* entwickelte Technik liefert Daten als Entscheidungs- und Bewertungsgrundlage die für die Kunden mit erheblicher Wertschöpfung verbunden sein können: An den Auswirkungen von Kohlenstoffentzug oder Einträgen sind Ausgleichszahlungen in Wasserschutzgebiete gekoppelt. Die Speicherung von Kohlenstoff im Boden und in Biomasse wird im Emissionshandel bewertet.

Es ist geplant, ein Messfahrzeug mit den neu entwickelten Geräten auszurüsten, mit dem Messfahrten zu Standorten durchgeführt und die Messung sofort online durchgeführt werden kann. Die Auswertung soll direkt im Gelände erfolgen.

Interessant für die wirtschaftliche Nutzung des gekoppelten Wasserressourcen und Kohlenstoffmanagements sind die groSSen Flächen: Können solche Effekte bewertet und quantifiziert werden, ergeben sich enorme Multiplikationseffekte. Die beteiligten Firmen gehen also davon aus, dass sich dieser Geschäftsbereich innerhalb von 10 Jahren signifikant zum Umsatz beitragen kann und dass sich aus der Patentierung der Messverfahren erhebliche Gewinne ergeben können.

10 Literatur und Verweise

- [1] L. H. Allen, D. Y. Pan, K. J. Boote, N. B. Pickering, and J. W. Jones. Carbon dioxide and temperature effects on evapotranspiration and water use efficiency of soybean. *Agronomy Journal*, 95(4):1071–1081, 2003. Times Cited: 17.
- [2] R. A. Betts, O. Boucher, M. Collins, P. M. Cox, P. D. Falloon, N. Gedney, D. L. Hemming, C. Huntingford, C. D. Jones, D. M. H. Sexton, and M. J. Webb. Projected increase in continental runoff due to plant responses to increasing carbon dioxide. *Nature*, 448(7157):1037–U5, 2007. Times Cited: 64.
- [3] W. A. Brand. Maintaining high precision of isotope ratio analysis over extended periods of time. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 45(2):135–149, 2009. Times Cited: 0 IAEA International Symposium on Quality Assurance for Analytical Methods in Isotope Hydrology AUG 00, 2004-JUL 17, 2009 Vienna, AUSTRIA.
- [4] E. R. Crosson. Ws-crds: Precision trace gas analysis and simplified stable isotope measurements. *American Laboratory*, 40(20):37–+, 2008. Times Cited: 0.
- [5] G. Gagliardi, A. Castrillo, R. Q. Iannone, E. R. T. Kerstel, and L. Gianfrani. High-precision determination of the (co₂)-c-13/(co₂)-c-12 isotope ratio using a portable 2.008-μm diode-laser spectrometer. *Applied Physics B-Lasers and Optics*, 77(1):119–124, 2003. Times Cited: 26.
- [6] N. Gedney, P. M. Cox, R. A. Betts, O. Boucher, C. Huntingford, and P. A. Stott. Detection of a direct carbon dioxide effect in continental river runoff records. *Nature*, 439(7078):835–838, 2006. Times Cited: 125.
- [7] L. Gianfrani, G. Gagliardi, M. van Burgel, and E. R. T. Kerstel. Isotope analysis of water by means of near-infrared dual-wavelength diode laser spectroscopy. *Optics Express*, 11(13):1566–1576, 2003. Times Cited: 25.
- [8] S. J. Guo, S. Wen, G. W. Zu, X. M. Wang, G. Y. Sheng, and J. M. Fu. Determination of the carbon isotope composition of atmospheric acetone. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 36(1):19–23, 2008. Times Cited: 2.
- [9] P. Gupta, D. Noone, J. Galewsky, C. Sweeney, and B. H. Vaughn. A new laser-based, field-deployable analyzer for laboratory-class stable isotope measurements in water. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 73(13):A480–A480, 2009. Times Cited: 1 19th Annual VM Goldschmidt Conference JUN 21, 2009 Davos, SWITZERLAND.
- [10] M. J. Hendry, L. I. Wassenaar, and G. P. Lis. Stable isotope composition of gaseous and dissolved oxygen in the subsurface. *Geochimica Et Cosmochimica*

Acta, 72(12):A367–A367, 2008. Times Cited: 0 8th Annual V M Goldschmidt Conference JUL, 2008 Vancouver, CANADA.

- [11] R. Q. Iannone, D. Romanini, O. Cattani, H. A. J. Meijer, and E. R. T. Kerstel. Water isotope ratio (δ H-2 and δ O-18) measurements in atmospheric moisture using an optical feedback cavity enhanced absorption laser spectrometer. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 115, 2010. Times Cited: 0.
- [12] E. Kerstel and L. Gianfrani. Advances in laser-based isotope ratio measurements: selected applications. *Applied Physics B-Lasers and Optics*, 92(3):439–449, 2008. Times Cited: 7.
- [13] J. H. Li, J. E. Erickson, G. Peresta, and B. G. Drake. Evapotranspiration and water use efficiency in a chesapeake bay wetland under carbon dioxide enrichment. *Global Change Biology*, 16(1):234–245, 2010. Times Cited: 0.
- [14] J. C. Linares, A. Delgado-Huertas, J. J. Camarero, J. Merino, and J. A. Carreira. Competition and drought limit the response of water-use efficiency to rising atmospheric carbon dioxide in the mediterranean fir abies pinsapo. *Oecologia*, 161(3):611–624, 2009. Times Cited: 5.
- [15] Juan-Carlos Linares, Antonio Delgado-Huertas, J. Julio Camarero, Jose Merino, and Jose A. Carreira. Competition and drought limit the response of water-use efficiency to rising atmospheric carbon dioxide in the mediterranean fir abies pinsapo. *Oecologia (Berlin)*, 161(3):611–624, 2009. Times Cited: 0.
- [16] M. Majoube. Fractionation in O-18 between ice and water vapor. *Journal De Chimie Physique Et De Physico-Chimie Biologique*, 68(4):625–&, 1971. Times Cited: 52.
- [17] C. K. N. Patel. Saturation spectroscopy with a tunable spin-flip raman laser. *Applied Physics Letters*, 25(2):112–114, 1974. ISI Document Delivery No.: T4693 Times Cited: 31 Cited Reference Count: 12 AMER INST PHYSICS WOODBURY.
- [18] Joel Pooler and Christopher L. Pooler. Biosequestration and organic assimilation of greenhouse gases, 2005. Times Cited: 0 Official Gazette of the United States Patent and Trademark Office Patents 0098-1133.
- [19] R. F. Wright. Effect of increased carbon dioxide and temperature on runoff chemistry at a forested catchment in southern norway (climex project). *Ecosystems*, 1(2):216–225, 1998. Times Cited: 45.