

Drahtlose Echtzeitanalysen von Phosphorausträgen bei klimatischen Extremereignissen

Hermann KLUG¹, Alexander KMOCH² und Christian JUHASZ³

¹IFFB Geoinformatik Z_GIS, Universität Salzburg · hermann.klug@sbg.ac.at

²GNS Science c/o, Wairakei, Neuseeland

³Informationstechnik und System-Management (its), Fachhochschule Salzburg GmbH

Dieser Beitrag wurde durch das Programmkomitee als „reviewed paper“ angenommen.

Zusammenfassung

Klimatische Extremereignisse wirken sich stark auf terrestrische und aquatische Landschaftsökosysteme aus und werden wissenschaftlichen Prognosen zufolge in Zukunft zunehmen. In dieser Arbeit stehen die Schneeschmelze und Starkregenereignisse im Vordergrund, da sie zu 80 % der Gesamt-Jahresfracht des limitierenden Nährstoffs beitragen. Dies bedingt eine raumzeitkritische Erfassung der Wasser- und Nährstoffflüsse, welche nur über ein in Echtzeit operierendes drahtloses Sensornetzwerk erreicht werden kann. Für die ereignisgesteuerte Umsetzung von Mess- und Analysezyklen bedarf es eines standardisierten Austauschs von Messergebnissen. In dieser Arbeit hinterfragen wir, ob eine sensorgesteuerte Automatisierung von Abfluss- und Phosphormessungen möglich bzw. unter Verwendung einer energieautarken, kostengünstigen und drahtlosen Übertragungsplattform zielführend ist. Während wir das wissenschaftliche Konzept der sensorgesteuerten Automatisierung von Drittsensoren verifizieren konnten, konnte während der achtmonatigen Testphase die automatisierte Steuerung aufgrund fehlender Extremereignisse bisher nicht unter realen Bedingungen getestet werden.

1 Einleitung

Durch den Einsatz zeitlich hochauflösender Monitoringsysteme wurde die Bedeutung meteorologischer Extremereignisse für terrestrische und aquatische Ökosysteme in Europa nachgewiesen (JENNINGS et al. 2012, JONES 2013). Extremereignisse (definiert als 50 mm/6 Stunden oder 100 mm/24 Stunden) werden in den europäischen Alpen mit großer Wahrscheinlichkeit zunehmen (DOBLER et al. 2013). Für die Region Salzburg wird eine 20 %ige Steigerung der Extremniederschläge in den Sommermonaten für die Periode 2007-2050 vorhergesagt (HOFSTÄTTER et al. 2010). Solche Extremereignisse führten bereits in der letzten Dekade im Mondsee-Einzugsgebiet zu starken Überflutungen (SEIBERT et al. 2007). Zuletzt überstiegen zwischen dem 29. Mai und dem 4. Juni 2013 die Niederschlagssummen im Westen und Norden Österreichs 200mm. Sie überfluteten große Teile des Mondsee-Einzugsgebietes und führten zu einem Seespiegelanstieg von etwa 1,5 Metern. Eine Studie von JONGMAN et al. (2014) belegt die damit verbundenen ökologischen und ökonomischen Konsequenzen, welche sich europaweit bis 2050 verdoppeln werden. Gravier-

rend waren allerdings auch die mit den Starkniederschlägen einhergehenden Nährstoffeinträge in die Gewässer. Im August 2002 ermittelten STRAUSS & STAUDINGER (2007) einen Austrag von 50 % der Jahresphosphoremissionen in den Mondsee. Die Ergebnisse zeigen darüber hinaus, dass in meteorologisch Durchschnittsjahren bis zu 80 % der Phosphorfrachten durch Ereignisse der Schneeschmelze im Februar/März sowie Sommer-Starkregenereignissen erklärt werden kann. Dies ist insbesondere bedeutsam, als Phosphor als limitierendes Nährstoffelement die Nettoprimärproduktion im See beeinflusst. Dies führt zu Algenblüten und zieht weitere aquatische (ökologische?) Konsequenzen nach sich. Die Signifikanz der Regenfrequenz und -intensität auf die Austragswahrscheinlichkeit konnte in Studien JORDAN et al. (2005a), JORDAN et al. (2005b), ANN et al. (1999) nachgewiesen werden. Ein prozessbasiertes Verständnis der Bewegung von verschiedenen Phosphorfraktionen im Mondsee Einzugsgebiet wurde aber experimentell bisher nicht untersucht. Eine fest definierte zeitliche Erfassung und Speicherung von Messwerten ist hier aber wenig zielführend. Extremereignisse treten kurzfristig auf und können schnell wieder aussetzen, sodass die räumliche und zeitliche Erfassung von Phosphorkonzentrationen von 0,01 P gesamt per mg/l bei Basisabfluss und 0,4 P gesamt per mg/l bei Abflussspitzen kritisch für die Erfassung von Gesamtphosphorbilanzen ist.

Um das Ausmaß der Phosphorfrachten und die Transportpfade während genannter Extremereignisse abzuschätzen zu können, bedarf es eines drahtlosen Sensornetzwerkes, welches die Basis für regelbasierte Mess- und Analysevorgänge bildet. Wir erhoffen uns, durch langfristige kontinuierliche automatisierte Messmethoden den Einfluss des Klimawandels auf die Nährstoffausträge als auch die Konsequenzen für das Seeökosystem bestimmen zu können. In Verbindung mit Untersuchungen an biologischen Parametern im Mondsee (Phytoplankton) erwarten wir Erkenntnisse, bei denen die Phosphorfrachten als Frühwarnsystem fungieren könnten. Mittelfristig verfolgen wir die Überprüfung der Hypothese, dass der Einfluss meteorologischer Extremereignisse einen Einfluss auf die Nährstoffemissionen und das Seeökosystem hat und dort insbesondere der Phosphor als limitierendes Element im Fokus steht. Um die Hypothese beantworten zu können, bedarf es folgender in dieser Arbeit umgesetzter methodisch-technischer Ziele:

- die raumzeitliche Erfassung von meteorologischen, hydrologischen und bodenkundlichen Umwelteigenschaften mit anwendungsbezogen ausgewählten Sensoren,
- der kontinuierliche Betrieb von kostengünstigen Umweltsensoren in extremen Klimabedingungen,
- die Umsetzung eines plattformunabhängigen, quelloffenen, energieautarken und damit standortungebundenen Sensornetzwerkes,
- die onlinebasierte, standardisierte Datenübertragung nach Kriterien des Open Geospatial Consortium (OGC) und der Internationalen Organisation für Normung (ISO),
- eine sensorgesteuerte Messungen zeit- und ortsspezifisch zu erfassender Umweltparameter (z. B. Phosphor in Gewässern).

Besondere Aufmerksamkeit wird hier dem letztgenannten methodischen Ziel gewidmet und hinterfragt, ob eine sensorgesteuerte Automatisierung von Abfluss- und Phosphormessungen möglich bzw. zielführend ist.

2 Material und Methoden

2.1 Das geowissenschaftliche Forschungsfeld Koppl

Der Versuchsaufbau konzentriert sich auf das Teileinzugsgebiet Koppl, 5 km östlich der Stadt Salzburg (Abb. 1), welches 6 km² des 246 km² großen Mondsee-Einzugsgebiets abdeckt. Dieses Teileinzugsgebiet umfasst den südwestlichen Teil des Mondsee-Einzugsgebiets. Bei den Aufstellungsorten der Stationen wurden verschiedene geowissenschaftliche Kriterien berücksichtigt: (i) flächenbezogene Einschränkungen seitens der Landwirte, (ii) Kriterien zur Aufstellung meteorologischer Stationen von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) und des Deutschen Wetterdienstes (DWD) sowie der Weltorganisation für Meteorologie (WMO). Innerhalb des Sensornetzwerkes ist ein zentraler Knotenpunkt situiert, an dem Topologie beschreibende Parameter, Messdaten und Metainformationen zusammengeführt werden. Diese Komponente stellt die Schnittstelle zwischen Sensornetz und den Endanwendern zur Einsicht und Untersuchung der Daten dar. Die Stationen 2-10 sind Nebenstationen mit limitierter Anzahl an Sensoren.

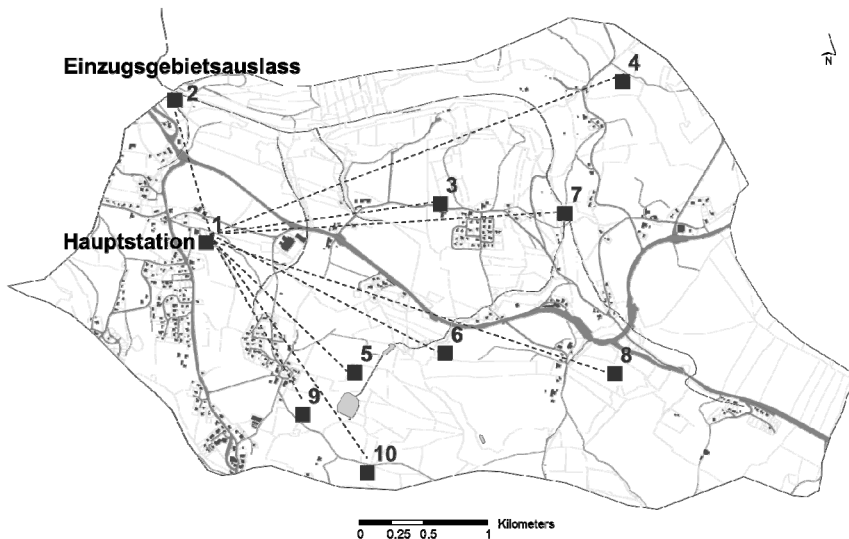


Abb. 1: Das 6 km² große geowissenschaftliche Forschungsfeld Koppl

2.2 Aufbau des drahtlosen Sensornetzwerkes

Für die Implementierung des Sensornetzwerkes verwendeten wir die Grundlagen nach BRÖRING et al. (2011) und MORREALE et al. (2011) sowie die in BOTTS et al. (2008) genannten Standards des „Sensor Web Enablement“. Auf der Basis der von RODRIGUES & NEVES (2010) aufgezeigten Hardwareplattformen zur Entwicklung von Sensorknoten wählten wir ein Sensorknoten mit der Produktbezeichnung WaspMote und einen zentralen Knotenpunkt mit der Bezeichnung Meshlium der Firma Libelium.

In den von CHRISTIN et al. (2010) vorgestellten Funkübertragungstechnologien wählten wir den Standard nach IEEE 802.15.4, der sich durch eine geringe Leistungsaufnahme und kostengünstige Hardware auszeichnet. Darüber hinaus garantiert er eine robuste Datenübertragung, unterschiedliche Reichweiten und eine kostenfreie Nutzung für nicht kommerzielle Anwendungen (BARONTI et al. 2007). Wir folgen der Beschreibung von LÖNN & OLSSON (2005) zur Implementierung des ZigBee-Protokolls als Übertragungsstandard.

Nachdem der Energieverbrauch nach ANASTASI et al. (2009) und AKYILDIZ et al. (2002) durch höhere Datenoperationen zugunsten von geringeren Datenübertragungsvolumina reduziert werden kann, setzen wir ein Abhandlungsschema von Dienstzyklen und damit ein Abschalten zu bestimmten Zeiten nicht benötigter Komponenten nach dem Vorbild von CHUNG & HWANG (2010) sowie GAMM et al. (2012) um. Eine integrierte zyklische Aktivitätsaufnahme befähigt den Sensorknoten in vordefinierten Zeitintervallen den Schlafmodus zu verlassen, um die Arbeitsoperationen wieder aufzunehmen. Eine gleichzeitige Verringerung der transferierten Datenpakete reduziert durch Filterung redundanter Daten den Energiebedarf zusätzlich (ZÚNIGA & KRISHNAMACHARI 2004). Der Verbrauch der Einzelkomponenten wurde mit den Messgeräten UNI-T UT81B und G.T.Power Watt Meter bestimmt und die Energieautarkie durch entsprechende Dimensionierung einer Photovoltaikanlage hergestellt.

Die öffentliche Datenanbindung zur Publizierung der Daten erfolgt über ein „Sensor Observation Service“ (SOS) mit den Datenschemata Observations & Measurements (O&M) und Water Markup Language (WaterML). Die Echtzeitübertragung erfolgt auf Basis der Mobilfunkschnittstelle des Anbieters „Drei“.

2.3 Integration von Sensoren

Nach den Ausführungen von MAHARREY et al. (2012) werden anwendungsspezifische Messgrößenumformer und Umrechnungsroutinen auf die bereitgestellten physikalischen Messgrößen angewendet und in computerverwertbare Größen transferiert. Folgende, bisher nicht auf den WaspMotes implementierte Sensoren, werden eingebunden: (1) Luftdruck (Freescal Semiconductor MPX4115A), (2) Bodenfeuchte (Decagon 10HS und Watermark), (3) Sonneneinstrahlung (Apogee Instruments SQ-110), (4) Niederschlag, (5) Windrichtung, und (6) Windgeschwindigkeit (4-6 Fa. Davis), (7) (Grund-)Wasserstand (Quantum Q-PSB bivalent), (8) Relative Luftfeuchtigkeit (Sencera Co. Ltd. 808H5V5), (9) Relative Luftfeuchtigkeit (Sensiron SHT75), (10) Temperatur (Sensiron SHT75), (11) Temperatur (Dallas Semiconductor DS1820), (12) Schneehöhe (Sommer USH-8) und (13) Schneewasseräquivalente (Sommer Snow Pack Analyse), (14) Wasserabfluss (Sontek IQ Plus) und (15) Phosphormessgerät (Systea WIZ).

Die Integration der Sensorik erfordert die Anwendung spezifischer Sensorplatinen, welche mit dem WaspMote verbunden werden. Die Einbindung der Sensoren 1, 3 bis 6 und 8 bis 10 erfolgt mit dem „Agriculture Board“ von Libelium. Die Sensoren 2, 7, 11, 14 und 15 sind nicht in die Libelium Plattform integriert. Ein entsprechendes Sensorboard wird unter Verwendung der Leiterplattensoftware Eagle 6.4.0 entworfen und mit den Steckverbindern des WaspMotes verbunden. Ein Prototyp dieser Platine wird mit einem Fräsbohrplotter gefertigt und manuell mit Bauteilen bestückt.

Die Sensoren < 9 sind integrierte Sensoren, also Sensoren mit passiver Funktionsweise. Bei den Sensoren > 8 handelt es sich um Sensoren mit digitalem Interface zur Datenkommunikation. Dabei implementiert der Sensor 9 und 10 den I2C Bus und erlaubt die Erfassung zweier Phänomene, der Sensor 11 zieht den One-Wire Bus zur Datenkommunikation heran. Zuletzt gelistete Sensoren 12 bis 15 implementieren eine RS-232 Schnittstelle. Sie weisen durch vorkonfigurierte, betriebsbestimmende Parameter eigenständige Arbeitsweisen auf. Die Erfassung der Bodenfeuchtigkeit (2) wird zur Messung in unterschiedlichen Tiefenstufen dreifach vorgenommen. Zugleich erfolgt die Erfassung der Temperaturen (Sensor 11) an diesen Positionen sowie an der Erdoberfläche und in 2 m Höhe.

2.4 Automatisiertes Messkonzept

Ziel ist die standardbasierte Übertragung und Verarbeitung der Messwerte in nahezu Echtzeit, um daraus einerseits Mess- und Analysezyklen zu bestimmen und andererseits ereignisangepasste Steuerungen zu automatisieren. Die ereignisangepasste Steuerung von Sensoren soll zum Beispiel die Messzyklen der Phosphorprobenahme (Sensor 15), als auch des Abflussmessgerätes (Sensor 14) steuern. Dies unterbindet die hochfrequente redundante Messung von gleichen Messwerten und spart für die Phosphoranalyse notwendige Chemikalien und entsprechende Wartungsintervalle. Änderungen von Messwerten sind während der Schneeschmelze als auch während Regenereignissen zu erwarten. Aus diesem Grund sollen sowohl Niederschläge als auch Reduzierungen der Schneewasseranteile über eine dynamische Konfiguration über einen „Sensor Planning Service“ die Messzyklen definieren. Diese Messzyklen sind gerätespezifisch und beim Phosphormessgerät auf 20 Minuten für Orthophosphatmessungen (PO_4) limitiert.

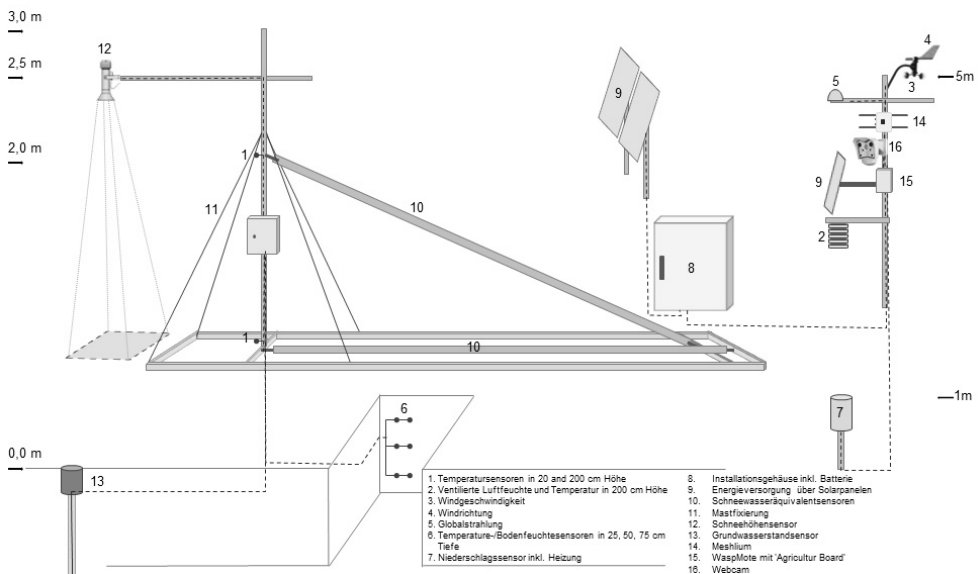


Abb. 2: Die Hauptstation „Meindlbauer“

3 Ergebnisse

3.1 Plattformunabhängiger Betrieb

Der zentrale Knotenpunkt (freies Betriebssystem Debian GNU/Linux 5.0 mit MySQL Datenbank) bildet die Basis der lizenzkostenfreien Betriebsführung des Sensornetzwerkes. Die Herstellung der Plattformunabhängigkeit erfolgte durch Java mit der Entwicklungsumgebung NetBeans 7.3, welche mit Windows, Linux oder Mac Betriebssystemen kompatibel ist. Zur Ausführung von Java-Anwendungen ist auf dem Meshlium die Java-Laufzeitumgebung mit der Version 1.6u25 32 Bit installiert.

Die Anwendungsentwicklung auf den Sensorknoten erfolgte durch die integrierte Entwicklungsumgebung von Libelium, welche für den WaspMote V1.1 in der Version 0.2 vorliegt und ebenfalls unter Mac, Windows und Linux Betriebssystemen ausgeführt werden kann. Die Unterstützung des anwendungsspezifischen Entwicklungsvorgangs eines WapsMote Sensorknoten erfolgte über die quelloffene Programmierschnittstelle von Libelium, welche in der Version 0.32 vorliegt.

3.2 Autarke Energieversorgung

Zur Umsetzung der autarken Energieversorgung wurde für die Komponenten SPA und USH-8 eine durchschnittliche Leistung von 0,14 W ermittelt, womit sich ein Tagesverbrauch von 3,36 Wh ergibt. Der Schnittstellenkonverter Moxa Nport besitzt eine offizielle Leistungsaufnahme von 2,4 W (Tagesverbrauch 57,6 Wh). Die beiden Sensorknoten erfordern eine Leistung von 3 W, wobei durch die Gleichspannungswandlung ein Verlust von 20 % und eine tägliche Aktivität von 10 % angenommen wurden. Dies resultiert in einem Tagesverbrauch von jeweils 8,64 Wh. Zur Herstellung des energieautarken Betriebs mit einer Beheizung des Regenmessers mit 50 % Tagesaktivität würden bei 24 W 288 Wh verbraucht. Damit muss von der Photovoltaikanlage ein täglicher Energieverbrauch von 495,84 Wh bereitgestellt werden.

Die autarke Energieversorgung der Hauptstation erfolgt mit zwei Solarpanelen (LG285N1C Mono X Neon), einer AGM-Batterie (12 V 260 Ah) sowie einem Wechselrichter (Steca Tarom 4545). Das Meshlium wird über eine 12 V Gleichspannung (12 VDC) mittels Power over Ethernet (POE) versorgt. Der Schnittstellenkonverter (Moxa Nport W2250A) wird über eine Ethernet Schnittstelle mit Energie versorgt und die Datenübertragung mit 10 Mbit/s und 100 Mbit/s realisiert.

Die Energieversorgung der Nebenstationen wird durch integrierte Funktionsgruppen innerhalb der Sensorknoten veranlasst. Dabei stellt ein Solarpanel (3 Wp) elektrische Energie dem Sensorknoten bereit, um die für den Betrieb erforderlichen Spannungsversorgungen durch Zuhilfenahme einer wieder aufladbaren Pufferbatterie (Spannung 4.2 V, Kapazität 6600 mAh) herzustellen.

3.3 Integration Neuer Sensoren

Die Speicherungen von Messungen im SOS erfordert die Kenntnis mehrerer verbundener Metainformationen. Beschreibende Informationen der eingesetzten Sensorik sind in der Datenbank inkludiert. Dabei erlaubt der Einsatz einer Sensoridentifikation und einem Sen-

sornamen, die Sensoren zu unterscheiden. Des Weiteren sind Felder für das erfasste Phänomen (z. B. Temperatur), einer Einheit (z. B. °C) und einer Beschreibung enthalten. Diese Parameter müssen vor Betriebsherstellung des Sensornetzwerkes in der Datenbank angelegt sein, um eine SOS konforme Datenübermittlung zu ermöglichen. Zusammen mit dem Informationsgehalt dieser Felder und der erfassten Messungen, die sowohl einen Messzeitpunkt und ein numerisches Messergebnis beinhalten, erfolgt die Übermittlung durch eine SOS-Software-Verbindungs-komponente. Diese speist die generierten Messdaten mittels „InsertObservation“ Transaktionen in den SOS-Server im Internet ein. Die Datenverbindung nutzt allein die Mobilfunkschnittstelle des Meshliums zur Datenkommunikation mit dem Internet. Die Parameter zu einer Beobachtung werden zugleich als Datensicherung in der lokalen Datenbank auf dem Meshlium abgelegt und werden über den SOS-Webdienst direkt in O&M sowie WaterML im Internet verfügbar gemacht.

4 Diskussion

Mit dem hier vorgestellten System wird die Basis für eine höher frequentierte, zeitgenaue Erfassung von Umweltparametern wie Phosphor zu Extremereignissen möglich. Gemäß der Annahme von STRAUSS & STAUDINGER (2007) können 80 % der Phosphoremissionen auf Basis von Echtzeitmesswerten beschrieben und damit die Auswirkungen von Extremereignissen besser gedeutet werden. Eine prozessorientierte Beschreibung der Wasser- und Nährstoffflüsse ist bisher aufgrund fehlender Ressourcen nicht erfolgt. Der Testbetrieb hat indes gezeigt, dass eine automatische Steuerung möglich ist. Eine Anwendung unter Extrembedingungen ist allerdings ausständig, da in der Testperiode keine Extremereignisse aufgetreten sind. Damit konnte die Frage, ob die Automatisierung der Messlogik zielführend ist, nicht geklärt werden. Zukünftige Messergebnisse müssen den Nachweis der Korrelation zwischen Extremereignissen und Phosphorfrachten im Gewässer erst noch untermauern.

Über die Hauptfragestellung hinaus konnten die genannten technischen Ziele zur Erfassung von speziellen Umweltparametern durch neue in die Libelium-Entwicklungsumgebung integrierter Sensoren erfolgreich verifiziert werden. Im genannten Untersuchungsgebiet konnten über acht Monate – unter sommerlichen und winterlichen Bedingungen – erfolgreich Messwerte aufgenommen werden. Diese Rohmesswerte sind teilweise durch Schwankungen gekennzeichnet, welche einen Einfluss auf die automatisierte Steuerung der Messzyklen anderer Sensoren haben. Damit sind zur adäquaten Steuerung noch Vorprozessierungsmethoden auf den Daten vor der Integration in den SOS zu implementieren.

Die Minimierung des Energiebedarfs der Sensor Nodes wurde mit der Einbettung von Dienstzyklen sowie der unterdrückten Erfassung redundanter Informationen erreicht und eine dauerhafte Energieversorgung mit maximalem Verlust von 22 % Batteriekapazität sichergestellt. Der gute Ladezustand der Batterie ist aber auch Wetterbedingungen ohne langandauernde Schneefälle, Schneebedeckung, Wolken oder Hochnebel während der Wintermonate zu verdanken. Trotz der positiven Energieversorgung konnte die initial vorgesehene Heizkomponente des Regenmessers nicht energieautark abgebildet werden. Hier sind weitere energieoptimierende Maßnahmen von Nöten, um die Heizperioden und die Heizflächen am Sensor maßgeblich zu verringern. Dies könnte durch eine Reduzierung der Beheizung auf Tage mit Schneefall oder feuchten Bedingungen bei unter null Grad erreicht werden. Ferner wurde aufgrund der sensorspezifischen Eigenschaften der Watermark Boden-

feuchtesensoren ein erhöhter Energieverbrauch festgestellt. Um diesen weiter zu optimieren, wird in Zukunft der Bodenfeuchtesensor 10HS von Decagon verwendet.

5 Ausblick

Die im SOS registrierten geowissenschaftlichen Messwerte ermöglichen zukünftige Analysen von ortsspezifischen, hydrologischen Prozessen. Dadurch kann unter Verwendung von weiteren geowissenschaftlichen Daten (z. B. Bodendaten) eine prozessorientierte Modellbildung und Integration in ein automatisiertes „Web Processing Service“ erreicht werden. Ferner erwarten wir durch die kontinuierlichen hochfrequenten und ereignisorientierten Analysen darlegen zu können, dass bisherige Überwachungszyklen im Rahmen der Wasser-rahmenrichtlinie mit monatlicher bzw. vierteljährlicher Probenahme für die Bestimmung der Qualität von Seeökosystemen nicht zielführend sind. Das zukünftige Ziel muss die operationelle Analyse und Vorhersage von tatsächlichen bzw. möglichen Auswirkungen von Extremereignissen auf Basis integrativ-holistischer Prozessbeziehungen sein. Eine transdisziplinäre Reflektion der Umweltbeziehungen mit besonderem Bezug auf Nährstoffemissionen während Extremereignissen muss auch die gesellschaftlichen Aktivitäten wie die Landbewirtschaftung integrieren. Gassensoren könnten Gülleapplikationen räumlich und zeitlich registrieren und dadurch landwirtschaftliche Phosphorausträge mit Extremereignissen korreliert werden. Nach KLUG & ZEIL (2008) erfolgen die Phosphoremissionen über eine Vielzahl von Austragspfaden, welche die verschiedene Aspekte des Landschaftshaushalts (zum Beispiel aus den Beiträgen von KLUG & LÖSCHENBRAND (2006), KLUG et al. (2007), KLUG & HASLAUER (2010), KLUG et al. (2010)) in die Analyse zu integrieren sind.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim Fördergeber des „Ministry of Business, Innovation, and Employment (MBIE)“ aus Neuseeland im Rahmen des SMART Projektes (07/2011 – 06/2017) für Bereitstellung der Mittel zur Entwicklung des Sensornetzwerkes. Ferner danken wir den Landwirten für die Bereitstellung ihrer Flächen für den Aufbau der Stationen, sowie der Gemeinde Koppl für ihre ständige Unterstützung des Forschungsansatzes.

Literatur

- AKYILDIZ, I. F., SU, W., SANKARASUBRAMANIAM, Y. & CAYIRCI, E. (2002), Wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks*, 38 (4), 393-422.
- ANASTASI, G., CONTI, M., DI FRANCESCO, M. & PASSARELLA, A. (2009), Energy conservation in wireless sensor networks: A survey. *Ad Hoc Networks*, 7 (3), 537-568.
- ANN, Y., REDDY, K. R. & DELFINO, J. J. (1999), Influence of chemical amendments on phosphorus immobilization in soils from a constructed wetland. *Ecological Engineering*, 14 (1-2), 157-167.
- BARONTI, P., PILLAI, P., CHOOK, V. W. C., CHESSA, S., GOTTA, A. & HU, Y. F. (2007), Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards. *Computer Communications*, 30 (7), 1655-1695.

- BOTTS, M., PERCIVAL, G., REED, C. & DAVIDSON, J. (2008), OGC[®] Sensor Web Enablement: Overview and High Level Architecture. In: NITTEL, S., LABRINIDIS, A. & STEFANIDIS, A. (Hrsg.), *GeoSensor Networks*. Springer, Berlin/Heidelberg, 4540, 175-190.
- BRÖRING, A., ECHTERHOFF, J., JIRKA, S., SIMONIS, I., EVERDING, T., STASCH, C., LIANG, S. & LEMMENS, R. (2011), New Generation Sensor Web Enablement. *Sensors*, 11 (3), 2652-2699.
- CHRISTIN, D., MOGRE, P. S. & HOLLICK, M. (2010), Survey on Wireless Sensor Network Technologies for Industrial Automation: The Security and Quality of Service Perspectives. *Future Internet*, 2 (2), 96-125.
- CHUNG, Y. W. & HWANG, H. Y. (2010), Modeling and Analysis of Energy Conservation Scheme Based on Duty Cycling in Wireless Ad Hoc Sensor Network. *Sensors*, 10 (6), 5569-5589.
- DOBLER, C., BÜRGER, G. & STÖTTER, J. (2013), Simulating future precipitation extremes in a complex Alpine catchment. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 263-277.
- GAMM, G. U., KOSTIC, M., SIPPEL, M. & REINDL, L. M. (2012), Low-power sensor node with addressable wake-up on-demand capability. *International Journal of Sensor Networks*, 11 (1), 48-56(9).
- HOFSTÄTTER, M., MATULLA, C., WANG, J. & WAGNER, S. (2010), PRISK-CHANGE – Veränderung des Risikos extremer Niederschlagsereignisse als Folge des Klimawandels. Projektbericht, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG).
- JENNINGS, E., JONES, S. E., ARVOLA, L., STAEHR, P. A., GAISER, E., JONES, I. D., WEATHERS, K. C., WEYHENMEYER, G. A., CHIU, C.-Y. & DE EYTO, E. (2012), Effects of weather-related episodic events in lakes: an analysis based on high-frequency data. *Freshwater Biol.*, 57 (3), 589-601.
- JONES, I. (Ed.) (2013), *The Impact of Extreme Events on Freshwater Ecosystems*. The British Ecological Society.
- JONGMAN, B., HOCHRAINER-STIGLER, S., FEYEN, L., AERTS, J. C. J. H., MECHLER, R., BOTZEN, W. J. W., BOUWER, L. M., PFLUG, G. ROJAS, R. & WARD, P. J. (2014), Increasing stress on disaster-risk finance due to large floods. *Nature Clim. Change* Nr. advance online publication.
- JORDAN, P., ARNSCHEIDT, J., MCGROGAN, H. & MCCORMICK, S. (2005a), High-resolution phosphorus transfers at the catchment scale: the hidden importance of non-storm transfers. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 9 (6), 685-691.
- JORDAN, P., MENARY, W., DALY, K., KIELY, G., MORGAN, G., BYRNE, P. & MOLES, R. (2005b), Patterns and processes of phosphorus transfer from Irish grassland soils to rivers – integration of laboratory and catchment studies. *Journal of Hydrology*, 304, 20-34.
- KLUG, H. & LÖSCHENBRAND, F. (2006), GIS gestütztes Verfahren zur Abschätzung potenziell drainierter landwirtschaftlicher Nutzflächen am Beispiel der Einzugsgebiete Mondsee und Waginger-Tachinger See. In: STROBL, J., BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.), *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XVIII: Wichmann Verlag, Heidelberg*, 308-317.
- KLUG, H., LANG, S., PERNKOPF, M. L. & ZEIL, P. (2007), Vorstellung einer Methode zur Ermittlung der Nutzungsintensität auf Grünlandflächen unter Einbezug von Fernerkundungsdaten und objekt-basierter Klassifikation. *Schriftenreihe BAW*, 26, 51-65.
- KLUG, H. & ZEIL, P. (2008), Spatially Explicit Modelling of Phosphorus Emissions. *Geoinformatics*, 8 (11), 32-35.

- KLUG, H. & HASLAUER, E. (2010), Raum-zeitliche Abschätzung der Verdunstungskapazität von Landoberflächen. In: STROBL, J., BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.), *Angewandte Geoinformatik 2010*. Wichmann Verlag, Berlin/Offenbach, 641-650.
- KLUG, H., WASNER, Y., SCHIEDER, G. & MAISLINGER, G. (2010), Flächendifferenzierte Modellierung der Grundwasserneubildungsrate im Mondsee Einzugsgebiet. In: STROBL, J., BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.), *Angewandte Geoinformatik 2010*. Wichmann Verlag, Berlin/Offenbach, 300-309.
- LÖNN, J. & OLSSON, J. (2005), Zigbee for wireless networking. Thesis. Department of Science and Technology Norrköping, Linköpings Universitet, 73.
- MAHARREY, B. K., LIM, A. S. & GAO, S. (2012), Interconnection between IP Networks and Wireless Sensor Networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2012, 1-15.
- MORREALE, P., QI, F. & CROFT, P. (2011), A green wireless sensor network for environmental monitoring and risk identification. *International Journal of Sensor Networks*, 10 (1/2), 73-82.
- RODRIGUES, J. J. P. C. & NEVES, P. A. C. S. (2010), A survey on IP-based wireless sensor network solutions. *International Journal of Communication Systems*, 23 (8), 963-981.
- SEIBERT, P., FRANK, A. & FORMAYER, H. (2007), Synoptic and regional patterns of heavy precipitation in Austria. *Theoretical and Applied Climatology*, 87 (1-4), 139-153.
- STRAUSS, P. & STAUDINGER, B. (2007), Berechnung der Phosphor und Schwebstofffrachten zweier Hauptzubringer (Zellerache, Fuschlerache) des Mondsees. *Schriftenreihe BAW*, 26, 18-33.
- ZÚNIGA, Z. M. & KRISHNAMACHARI, B. (2004), Integrating Future Large-scale Wireless Sensor Networks with the Internet. *CiteSeer*, 6.